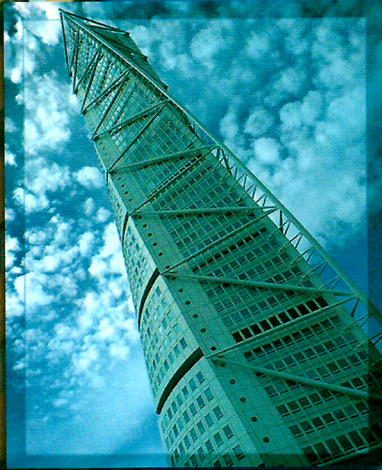


# أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

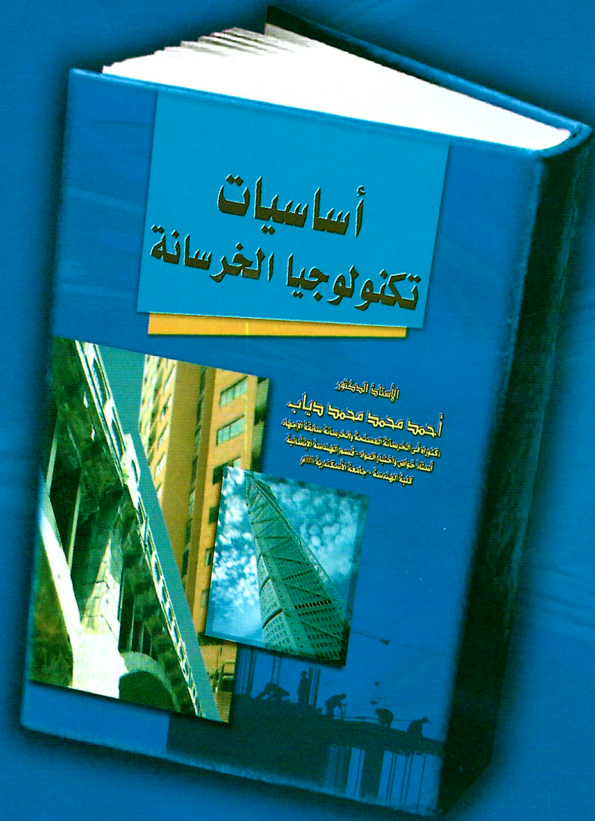
أحمد محمد دياب

دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد  
أساتذة خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية  
كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية



أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

أ.د. أحمد محمد دياب



SCANED BY  
ENG.OSAMA TAREK



## الباب الرابع صناعة الخرسانة (Concrete Manufacture)

### 1-1 مقدمة:

تتكون الخرسانة من مادة لاحمة ومادة خاملة، وتتكون المادة اللاحمة من ناتج تفاعل الأسمنت والماء، وقد تكون مادة بوليمرية لتسمى الخرسانة في هذه الحالة Polymer Concrete، أما المادة الخاملة فيمثلها الركام، ويشغل الركام الكبير والصغير حوالى  $\frac{1}{3}$  حجم الخرسانة.

ولممر الخرسانة بمراحل رئيسية خلال عمرها؛ وهى مرحلة الخرسانة الطازجة ومرحلة الخرسانة الخضراء ومرحلة الخرسانة المتصلدة، ويجب أن تحقق الخرسانة فى هذه المراحل التشغيلية المطلوبة ومقاومة ضغط معينة تناسب نوع المنشأ، ويجب أن تكون الخرسانة أيضاً مقاومة للظروف المحيطة لها مما يعرف بالتحميلية، وسنذكر فيما يلى خطوات صناعة الخرسانة.

### 2-1 مرحلة الإعداد والتجهيز:

ولممر هذه المرحلة بمرحلتين أساسيتين؛ وهما تجهيز المواد واختبارها وتجهيز الفرغ والشدات الملائمة للمنشأ.

### 1-2-1 اختيار المواد واختبارها: أ- الأسمنت:

يحدد نوع الأسمنت طبقاً لنوع المنشأ وطريقة التشييد والظروف المحيطة، ويجب حفظه فى الموقع بطريقة صحيحة بعيداً عن الماء أو الرطوبة، وإذا خزن لفترة أكثر من شهر يجب إجراء الاختبارات القياسية عليه مرة أخرى قبل الاستخدام للتأكد من صلاحيته للاستخدام مرة أخرى، ويجب ألا تزيد درجة حرارته عن 45 درجة مئوية إذا لم تتخذ احتياطات خاصة عند الصب، أو 75 درجة مئوية عند اتخاذ إجراءات خاصة لخفض درجة حرارة الخرسانة، ويجب ألا يستخدم فى أعمال الخرسانة المسلحة أى أسمنت بدأت تتكون فيه حبيبات متصلدة أو مضى على تشويبه أكثر من ستة شهور.

### ب- الركام:

يحدد نوع الركام المستخدم تبعاً لعوامل عديدة؛ أهمها مكان المحاجر وبعدها عن الموقع ونوع المنشأ، ويختار الركام الكبير بحيث يكون المقاس الاعتبارى الأكبر  $1\frac{1}{2}$  أو أقل بعد للمنشأ، ولا يزيد عن  $3\frac{1}{2}$  -  $3\frac{1}{4}$  المسافة الخالصة بين حديد التسليح، والرمال المستخدمة لابد أن تكون خشنة ومتدرجة، ويفضل عمل مظلات وخاصة فى المناطق الحارة لحفظ الركام من الأمطار والبعث الشمس المباشرة والحرارة، ويجب أن يكون الركام خالى من المواد الضعيفة والضرارة ويكون غير قابل للتفاعل مع قلويات الأسمنت.



### جـ - الماء:

يجب أن يكون الماء نظيف وخالى من المواد الغريبة العالقة والمواد الكيميائية، ويجب ألا تزيد نسب الأملاح الكيميائية مثل الكبريتات والكلوريدات عن القيم المسموح بها فى ماء الخلط الواردة فى كود الخرسانة، والمذكورة فيما يلى:

- 2.00 جرام فى اللتر من الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S).
- 0.50 جرام فى اللتر من أملاح الكلوريدات على هيئة  $Cl^-$ .
- 0.30 جرام فى اللتر من أملاح الكبريتات على هيئة  $SO_3$ .
- 1.00 جرام فى اللتر من أملاح الكربونات والبيكربونات.
- 0.10 جرام فى اللتر من أملاح كبريتيد الصوديوم.
- 0.20 جرام فى اللتر من المواد العضوية.
- 2.00 جرام فى اللتر من المواد غير العضوية وهى الطين والمواد العالقة.

### 2-2-4 إعداد الفرغ والشدات:

قد تكون الفرغ المستخدمة مصنوعة من الأخشاب الطرية أو الصلبة أو أخشاب الأبلكاج أو الشدات المعدنية، وقد تكون شدات على هيئة بواكى صغيرة أو كبيرة مثل الشدات النفقية، ويجب أن يتوافر فيها ما يلى:

أ- أن تكون قوية لتحمل ضغوط الخرسانة والأحمال الواقعة عليها.

ب- يجب أن تكون محكمة حتى لا تسرب المونة.

ويفضل رش الشدات الخشبية بالماء قبل الصب حتى لا تمتص الشدات مياه الخرسانة ولعلل أية فواصل بين أجزاء الشدة، ويجب عمل تحديب للشدات فى حالة المنشآت ذات الجور الطولية عكس اتجاه الترخيم، ففي حالة الكمرات فيكون التحديب  $1/400$  من البحر إذا زاد البحر عن  $1/150$  متر و  $1/150$  من البحر فى حالة الكوابيل الأكبر من 2 متر.

### 3-2-4 تجهيز الكميات والعبوات:

فى حالة الخلطات الحجمية تعمل صناديق للركام بحجم يتوقف على سعة الخلطة، ويضاف الماء بإناء معايير، أما الأسمنت فيعابى بالشيكارة، أما فى حالة الخلطات الوزنية فيتم وزن المكونات طبقاً لسعة الخلطة.

### 3-4 مرحلة الخرسانة الطازجة:

وتنقسم خطوات صناعة الخرسانة فى هذه المرحلة إلى مراحل الخلط والنقل والصب ودمك الخرسانة.

#### 1-3-4 خلط الخرسانة:

قد يكون خلط الخرسانة يدوى أو ميكانيكى، ولايفضل الخلط اليدوى، ولكن إذا لزم الأمر من استخدامه فلايد من اتخاذ الاحتياطات اللازمة، حيث يتم خلط المواد مرتين على الناشف قبل إضافة المياه بالمحراث، ثم تخطط مرتين على الأقل بعد إضافة الماء. أما الخلط الميكانيكى فيتم فى خلطات حجمية أو خلطات مركزية. ويتم الخلط لمدة تتراوح بين 2-5 دقائق، وتلطف الخلطات الوزنية عن الحجمية حيث يتحسن ضبط الجودة باستخدامها.

### الخلطات الحجمية Volumetric Mixer:

ويوجد منها عدة أنواع:

1. خلطة تدور حول محور رأسى: وتستخدم غالباً فى المعامل.
  2. خلطة نحلة: وهى خلطة ذات سعة صغيرة تدور حول محور وهذه لا تستخدم فى الأعمال الهامة.
  3. خلطة حجمية ذات سعة كبيرة: تتميز هذه الخلطة بحلة ذات سعة كبيرة ويقوم المقاول بتجهيز منصة تحميل أمامها.
  4. خلطة ذات قادوس تحميل.
- ويجب على المهندس تحويل تصميم الخلطة إلى محتويات حجمية ومثالا كما يلى:

أسمنت	رمل	زلط	ماء
7 شكاير	0.4 م3	0.82 م3	180 لتر

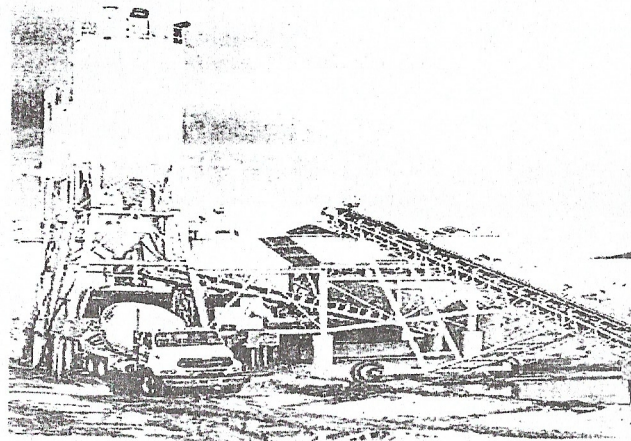
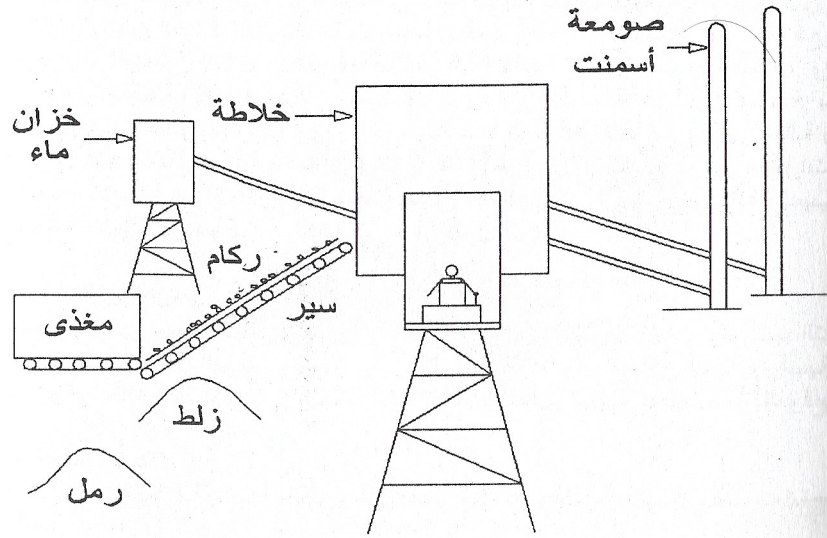
شكل رقم (1-4) يحتوى على رسومات توضح الأشكال المختلفة لبعض الخلطات الحجمية.

### الخلطات الوزنية (Bach plant):

وتتكون من الأجزاء التالية:

1. الخلطة وهى المكون الرئيسى
2. برج التحكم: وفيه مجموعة من الموازين، ومزود بوحدة تحكم إلكترونية فى بعض المحطات، ويتصل البرج بالخلطة بحيث يتم وزن أية كميات من المواد تدخل للخلطة.
3. صوامع تخزين الأسمنت.
4. خزان ماء.
5. خزان إضافات.
6. أماكن تخزين الرمل وأماكن تخزين الركام الكبير بمقاساته المختلفة.
7. عربات دوارة لنقل الخرسانة للموقع، أو عربات صغيرة غير دوارة.
8. مغذى للركام: وهو عبارة عن حاوية ذات غرف متعددة يوضع فيها الركام باستخدام محمل (Loader) أو سير.
9. سير لنقل الركام للخلطة.





شكل (2-4) شكل و صورة للخلاطة الوزنية

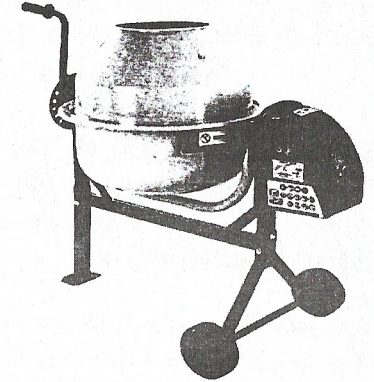
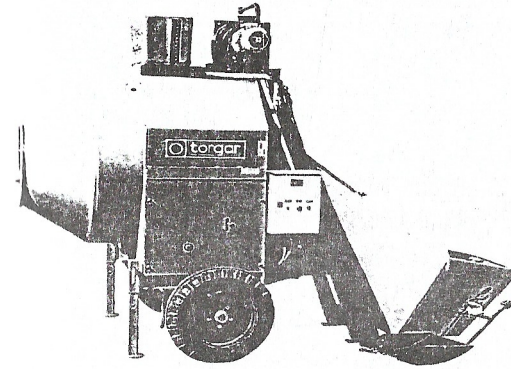
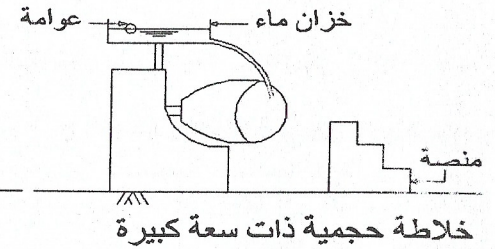
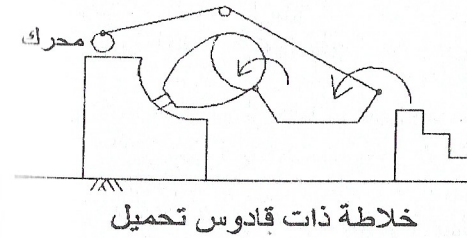
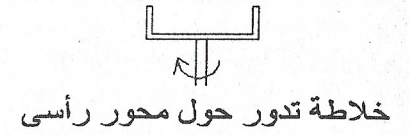
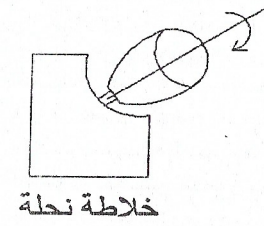
#### 2.1.4 نقل الخرسانة:

وتتم عملية النقل بطرق عديدة منها:

- 1- بالطرق اليدوية: حيث يتم الحمل المباشر للخرسانة.
- 2- بواسطة عربات صغيرة تدفع يدوياً: وهي سهلة المناورة.
- 3- باستخدام Dumper:

وهي عربات تتحرك داخل الموقع يتحكم فيها سائق، وتعمل بالوقود، وتتميز بخفة الحركة والمناورة ونقل الخرسانة من المضخة حتى مكان الصب، ويعيبها في حالة عدم إستواء الطرق أن الخرسانة قد تتعرض للزيف نتيجة الهز الزائد.

4- العربات الخلاطة:



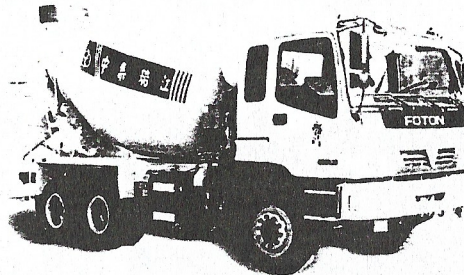
شكل (1-4) أشكال وصور الخلاطات الحجمية

وتتميز تلك الخلاطة بـ:

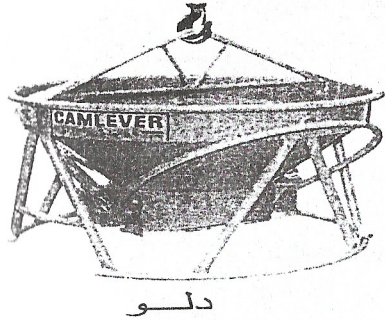
1. إنتاجية عالية تتراوح بين 30 إلى 150 م<sup>3</sup>/ساعة.
2. جودة عالية.
3. الخلاطة مجهزة بمقاييس لقياس رطوبة الرمل والركام الكبير، وتعديل الأوزان.

شكل رقم (2-4) يوضح رسومات للخلاطة الوزنية.

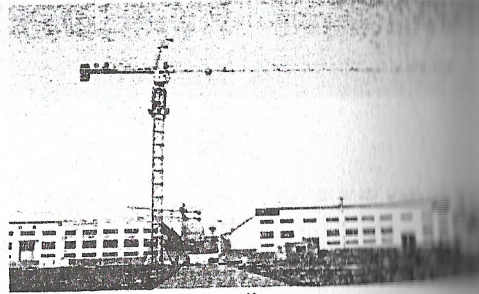




عربة دوارة

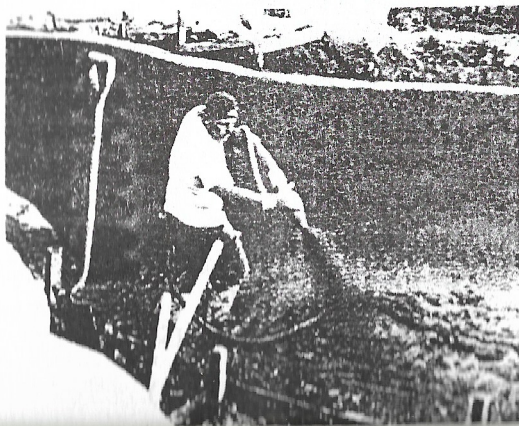


دلو

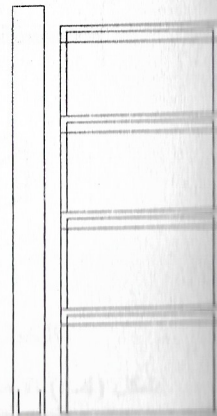


صورة للونش

شكل (3-4) أساليب نقل الخرسانة



مصعد



وهي عربة مزودة بحلقة دوارة مزودة بأذرع ميكانيكية داخل العربة، تعمل على خلط الخرسانة عند نقلها من الخلاطة المركزية الى داخل المدن أو خارج المدن إلى الموقع، وقد يطول مسار الرحلة للوصول للموقع، لذلك فغالباً تضاف إضافة كيميائية مؤجلة للشك، ويجب ضبط سرعة دوران الحلة لتكون قياسية، ويجب ألا تزيد فترة الرحلة عن 1.5 ساعة، بحيث يتم التأكد من الهبوط المطلوب ووحدة وزن الخرسانة عند الوصول للموقع، وفي حالة زيادة الزمن عن ذلك، فيجب عمل دراسة مسبقة بحيث لا تتأثر خواص الخرسانة. ومن مميزات هذه الطريقة صب الخرسانة في الأماكن المزديحة حيث لا يتوفر مكان لخلط الخرسانة ويعيب هذه الطريقة صعوبة التحكم في هبوط الخرسانة في حالة طول الرحلة.

#### 5- الأوناش Cranes:

ويستخدم ونش واحد أو عدة أوناش في الموقع الواحد لنقل الشدات وصلب التسليح والخرسانة وكل شيء داخل الموقع، وتتميز بقدرتها على الوصول لأماكن أفقية ورأسية دون إعاقة العمل، وفي حالة تعدد الأوناش، فيجب عمل تخطيط مسبق لكيفية عملها معاً بالموقع.

#### 6- المصاعد Lifts:

وتستخدم لنقل الخرسانة رأسياً فقط، وهي غير مكلفة، ولكن أعلى السقف تحتاج للقل للخرسانة أفقياً.

#### 7- العربات الرجاجة Jetting Lorries:

حيث تنقل الخرسانة وتعرضها للرج الخفيف للحفاظ على قوامها.

#### 8- قذف الخرسانة Shot concrete:

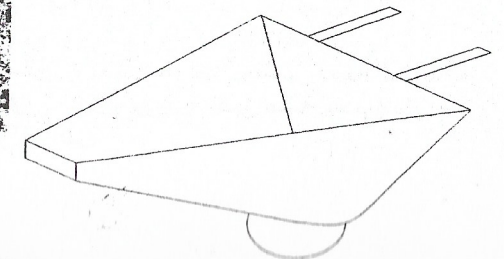
ويتم قذف الخرسانة تحت ضغط، ويستخدم فيها ركام لا يزيد مقاسه الاعتباري الأكبر من 10 مم، وتستخدم في أعمال الترميم وصب الأجزاء ذات الأسماك الصغيرة، وتحتاج لعمال مدربة.

#### 9- استخدام المواسير (المزrab):

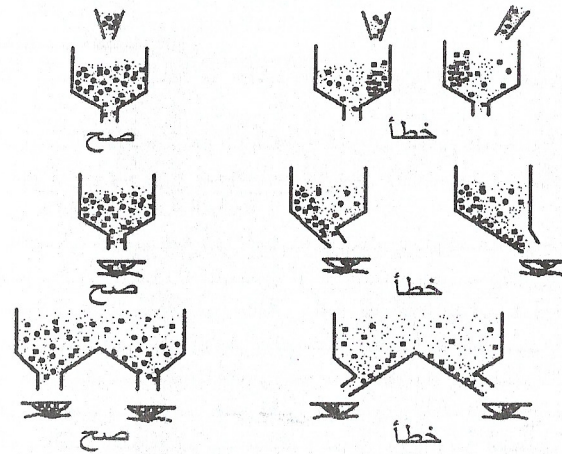
تستخدم المواسير لنقل الخرسانة إلى الأساسات أسفل سطح الأرض، ويجب الحفاظ عليها من تعرضها للانفصال.

#### 10- السيور الناقلة:

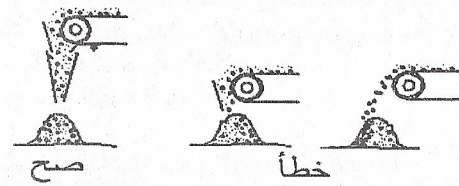
وهي إما أن تكون مفردة أو متعددة، وقد تتعرض فيها الخرسانة للانفصال وفقد الهبوط شكل رقم (3-4) يحتوي على تلخيص لأساليب نقل الخرسانة، وأثناء نقل الخرسانة من الخلاطة ووضعها في العربات أو عند الصب في القوالب، يجب تلاشي حدوث انفصال أو إدماء للخرسانة. ويوضح الشكل (4-4) الأخطاء المحتملة أثناء عملية النقل والصب في العبوات والقوالب.



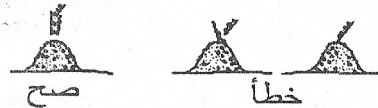




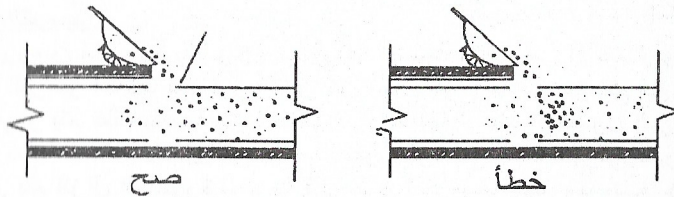
الخطأ في النقل بالقواديس



الخطأ عند نهاية السور



الخطأ عند نهاية المواسير

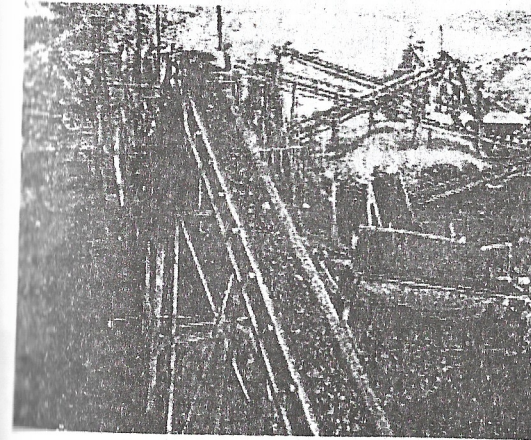


الخطأ عند النقل بالعربات اليدوية



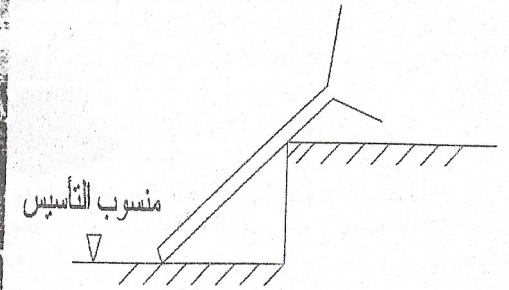
الخطأ عند استخدام المواسير في الأسطح المائلة

شكل (4-4) الأخطاء المحتملة أثناء نقل الخرسانة وتصحيحها (مستمر)



السيور

شكل (3-4) (مستمر) أساليب نقل الخرسانة



النقل بالمواسير



### 3-3-4 صب الخرسانة: 1-3-3-4 صب المنشآت التقليدية:

يجب قبل صب الخرسانة التأكد من تفاصيل التسليح والأبعاد واستلام الشدات، ويوصى بما يلي أثناء الصب:

1. تصب الخرسانة للبلاطات واللبشه والكمرات على طبقات تدمك كل واحدة دمكاً جيداً، ويفضل أن يتراوح سمك الطبقة بين 30 سم في حالة الخرسانة المسلحة و 50 سم في حالة الخرسانة العادية.
2. في حالة صب الخرسانة في أعمدة أو حوائط رأسية، فيجب الصب على عدة مستويات، حتى لا يحدث انفصال أو نزيف، بحيث يكون ارتفاع الصب الحر يتراوح بين 2- 2.5 متر وفي حالة زيادة الارتفاع يمكن عمل فتحة صب جانبيه في الشدة وبعد صب المرحلة الأولى يتم غلق الفتحة ثم يتم صب المرحلة الثانية.
3. في حالة صب خرسانة حديثة على خرسانة قديمة، فيجب تشييع الخرسانة القديمة بالماء قبل الصب بـ 24 ساعة، على أن يكون ذلك السطح خشن أو يخشن لبرش الزلط، ثم ينظف السطح بفرشة سلك، ثم يرش بمونة أسمنتية غنية، ويمكن دهان سطح الخرسانة القديمة بدون رشها بالماء، بمادة إيوكسية، أو مادة بولمرية تزيد من ترابط الخرسانة القديمة بالخرسانة الحديثة. وفي تلك الحالة يجب أن يكون سطح الخرسانة جاف. في حالة المنشآت الهيدروليكية، يفضل أن تتم عملية التخشين بالسفع بتيار رمل تحت ضغط عالي.
4. شكل (5-4) يوضح كيفية الصب الصحيح.

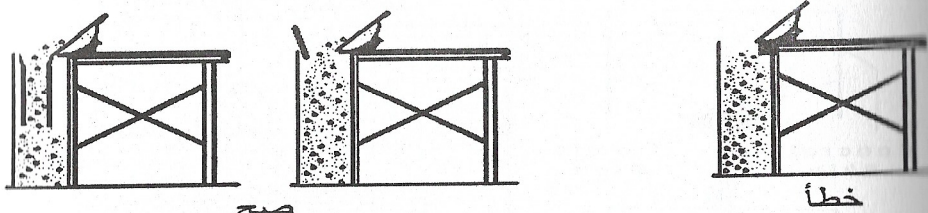
### 2-3-3-4 صب الخرسانة تحت الماء وفي الأساسات العميقة:

هناك عدة طرق لصب الخرسانة تحت الماء وهي:

- أ. طريقة ترميو Tremie.
- ب. الدلو Bucket.
- ج. حقن الركام.
- د. الشكاثر الخرسانية.
- هـ. ضخ الخرسانة.

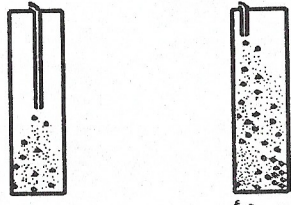
### 1 - طريقة الترميو:

وتتكون من ماسورة بقطر 25 سم أو 10 أضعاف المقاس الإعتباري الأكبر للركام و ماسورة الترميو أعلاها قادوس، وتغلق من أسفل بلوح معدني، يتحكم في فتحه وغلقه كابل من داخله، أو يتم غلقه بقطعة من الخشب في أسفلها، وعند الوصول إلى العمق المطلوب تدفع الخرسانة السدادة لأسفل. في حالة ما تكون قوة دفع الماء الجوفي أكبر كثيراً من وزن الماسورة، يتم إنزال الماسورة مفتوحة قبل ضخ الخرسانة بها، ويوضع غلاف من البولي إثيلين أعلى الماسورة ليكون أسفل الخرسانة ليمنع إختلاط الخرسانة بالماء. وفي حالة ما تكون سرعة الماء أكبر من 30 سم / دقيقة، يجب عمل سدود لتخفيض السرعة (شكل 6-4).



صح

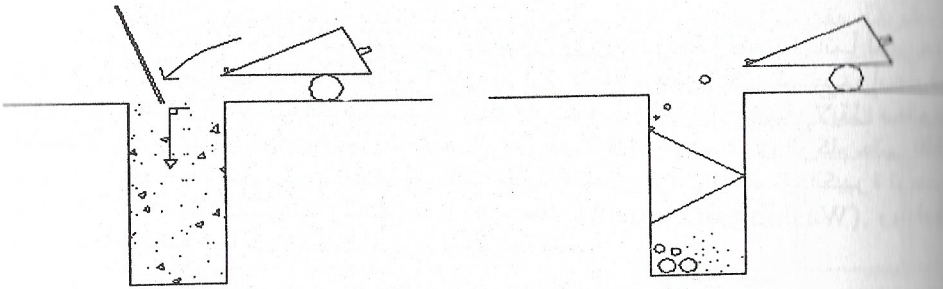
صب الأعمدة بالعربات



صح

خطأ

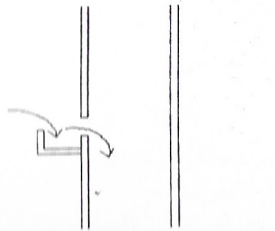
صب الأعمدة بالمضخة



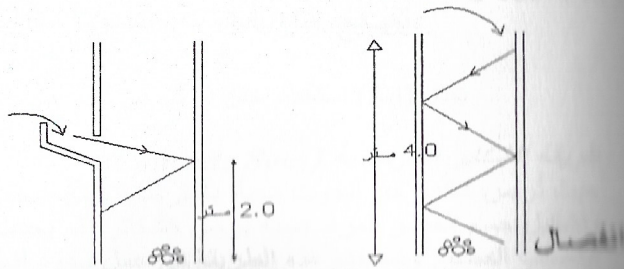
خرسانة متجانسة

حدوث انفصال

كيفية صب الكمرات



فتحة صب صحيحة

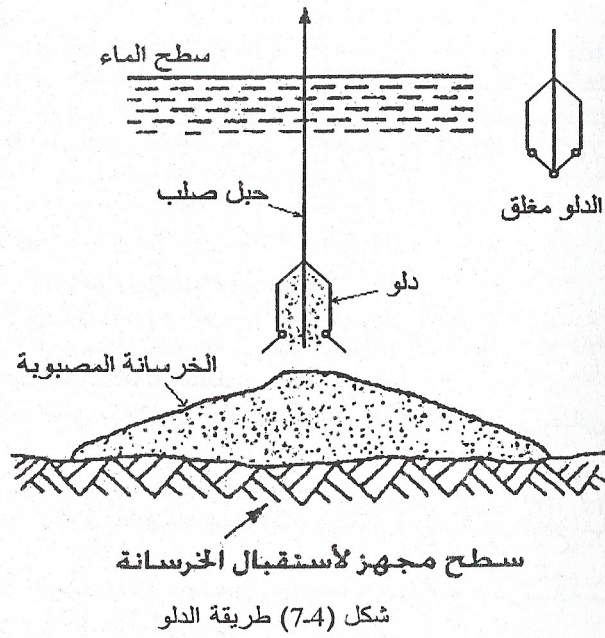


فتحة صب خطأ

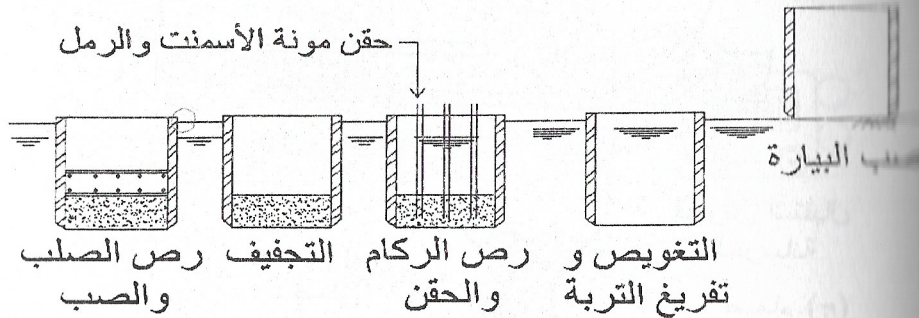
كيفية صب الأعمدة

شكل (5-4) كيفية الصب الصحيح





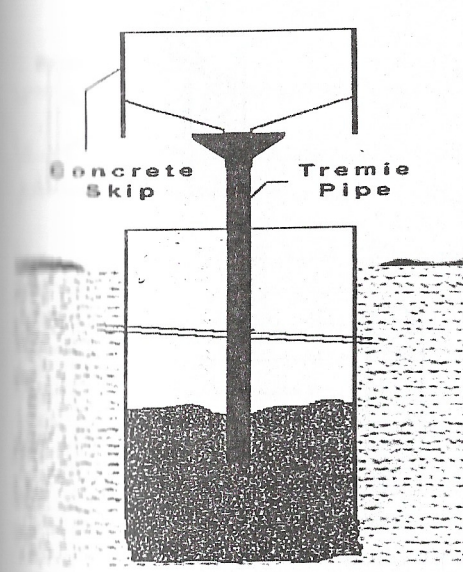
طريقة حقن الركام الكبير (Injection of Placed Aggregate): حيث يتم رص الركام الكبير، ثم تضخ المونة بواسطة مواسير خاصة أو مضخات، ويتم استخدامها في ترميم الأعضاء التي يصعب الوصول إليها، وكذلك صب وتنفيذ بيارات الصرف الصحي بالخطوات الموضحة بشكل رقم (8-4).



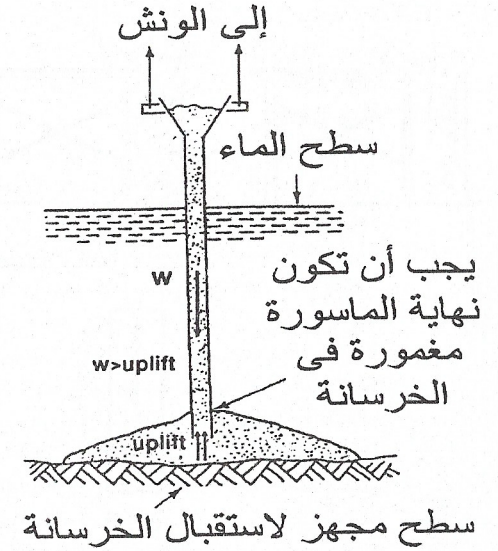
شكل (8-4) استخدام حقن الركام في تنفيذ بيارات الصرف الصحي

طريقة الشكاير الخرسانية (Concrete Sacs): حيث تُرصد شكاير من الجوت معبأة بالخرسانة بعناية تحت الماء بواسطة غواصين، وتشكل جسم العضو المراد صبه برص الشكاير، ثم يحدث أن تشكل الخرسانة، فيصلب العضو، وتستخدم هذه الطريقة في عمل سدود لتهدة سرعة المياه في المجارى المائية، ومعالجة وترميم بعض التآكلات بالمنشآت البحرية.

طريقة صب الخرسانة بالمضخات (Placing by Pumping Method):



شكل (6-4) استخدام الترميو لصب الخرسانة



يتم صب الخرسانة داخل الترميو، على أن يكون وزن الخرسانة داخلها دائماً أكبر من قوة دفع الماء. ويراعى عند نقل ماسورة الترميو أن لا تُنقل أفقياً، ولكن تسحب رأسياً، ثم تنزل في المكان المناسب أثناء الصب، ويجب أن تكون الخرسانة غنية؛ لايقل محتويات الأسمنت عن 400 كجم/م<sup>3</sup>، ولا يقل محتوى الرمل عن 50% من محتوى الركام حتى لا يحدث الانفصال، ويُنصح باستخدام إضافات عالية التلدين، وفي الأعماق الكبيرة توضع مواد ناعمة (إضافات معدنية) لمنع غسيل الأسمنت (Washing of cement)، وينطبق ذلك أيضاً في حالة ما تكون هناك أمواج أو سرعة بالماء.

ب - طريقة الدلو (Bucket):

وهو عبارة عن دلو مفتوح من أعلى ذي بوابة من أسفل، حيث يتم ملء الدلو بالخرسانة وتغطيته، ثم إنزاله إلى المكان المطلوب، ثم تفتح البوابة السفلية، فتصب الخرسانة (شكل 7-4)، ويُفضل ألا يقل الهبوط عن 10 سم، ولا يقل محتويات الأسمنت عن 400 كجم/م<sup>3</sup>، ويزداد محتوى الرمل، ويُفضل دائماً أن يتم الصب بالدلو داخل ماسورة.



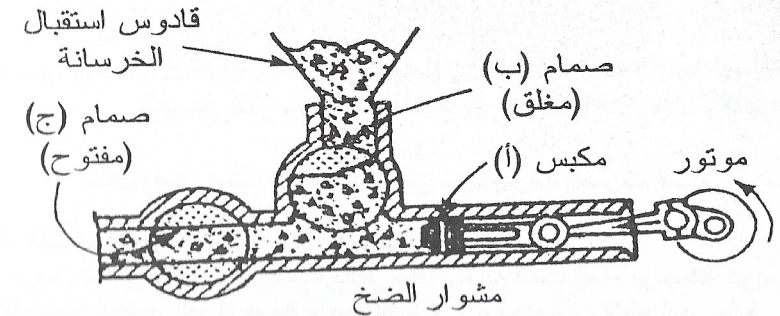
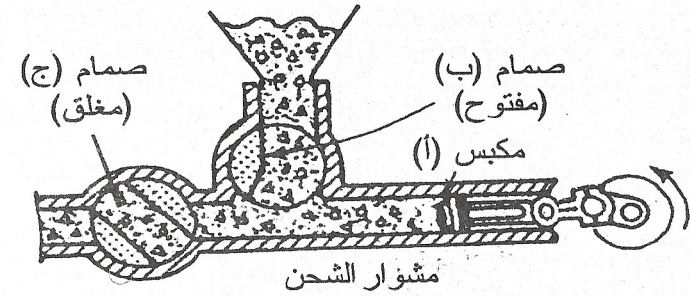
وهي عبارة عن ضخ الخرسانة بعد صلبها في مواسير مرنة أو جسنة (Rigid) إلى أماكن الصب في قوالب. وتعتبر هذه الطريقة من الطرق التي تحقق إنتاجية صب عالية، وهي تستخدم في أغلب الإنشاءات، ولو أنها تفضل في المواقع الغير متوفر فيها معدات تشييد. ولا تفضل في الأماكن المرتفعة جداً لغلو ثمن المواسير وارتفاع قيمة الطاقة المبذولة، وبالتالي تؤثر على إقتصاديات المشروع.

### \* أنواع المضخات:

#### أ - المضخات ذات المكبس (Piston Pumps):

وهي تختلف من منتج إلى آخر، وعموماً فإنها تتكون من الأجزاء الرئيسية التالية:

- 1- قادوس يستقبل الخرسانة الطازجة من الخلاطة.
  - 2- اسطوانة تستقبل الخرسانة من القادوس.
- هذه الاسطوانة تلتقي بالقادوس على هيئة حرف T مقلوب، وبالتالي يكون لها ثلاث فتحات:
- الفتحة الأولى: يعمل عليها مكبس (أ) متصل بموتور يعمل بالديزل أو بالكهرباء.
  - الفتحة الثانية: يعمل عليها صمام (ب) يتحكم في دخول الخرسانة من القادوس للاسطوانة.
  - الفتحة الثالثة: فيعمل عليها صمام (ج) يسمح بخروج الخرسانة من المضخة إلى المواسير وليس العكس (شكل 9-4).



شكل (9-4) المضخة ذات المكبس

3- مواسير مرنة من المطاط المقوى أو من وصلات من المواسير الجسنة.

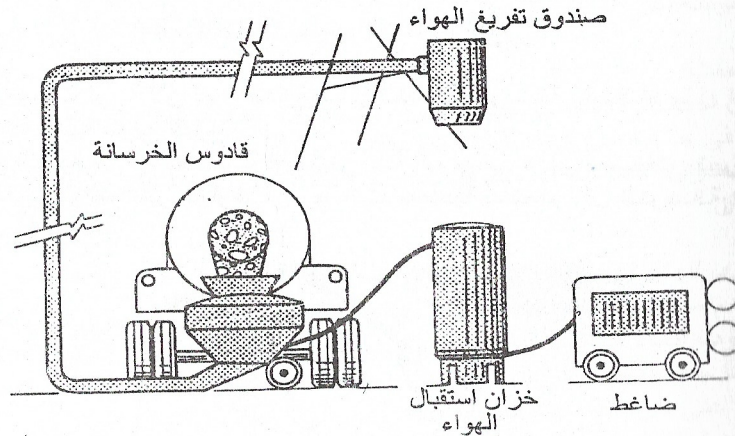
### \* الطريقة العمل:

ينقسم عمل المضخة إلى مشوارين: المشوار الأول؛ هو مشوار الشحن، وفيه يتحرك المكبس (أ) إلى الخارج، وبالتالي يفتح الصمام (ب)، فيسمح بنزول شحنة من الخرسانة للاسطوانة، في حين سيكون الصمام (ج) غالقاً للاسطوانة، والمشوار الثاني؛ هو عكس المشوار الأول، حيث يتحرك صمام المكبس (أ) للداخل، وبالتالي يغلق الصمام (ب)، ويلى ذلك فتح المكبس (ج)، فتندفع الخرسانة في المواسير. وعموماً تتغير سعة القادوس من 0.10 إلى 1.5 م<sup>3</sup>، وغالباً ما يكون مزود بأجهزة إعادة طلاء لكي يحافظ على قوام وتجانس الخلطة.

#### ب - المضخات الهوائية Pneumatic Pump:

ويتكون هذا النوع من المضخات من الأجزاء الرئيسية الآتية، كما هو مبين بشكل (10-4).

- 1- خزان هواء.
- 2- ضاغط للهواء.
- 3- مستقبل الخرسانة من الخلاطة.
- 4- المواسير الناقلة.
- 5- خزان تصريف الهواء.



شكل (10-4) المضخة الهوائية

### \* الطريقة العمل:

يتم شحن مستقبل الخرسانة، ثم يتم تشغيل ضاغط الهواء ليولد ضغط على الهواء في الخزان، فيندفع الهواء بقوة إلى مستقبل الخرسانة، حيث يدفعها في المواسير، وعند النهاية تصب في خزان لتصريف الهواء الموجود بالخلطة، ثم تندفع الخرسانة لمكان الصب، وتستخدم تلك المضخات لنقل الخرسانة لمسافات طويلة، وتستخدم بدون خزان تصريف الهواء في أعمال الترميم.

#### ج - مضخات الضغط والدفع Squeeze Pressure Pump:

وهي واضحة من الشكل (11-4) تتكون المضخة عموماً من: 1- قادوس لتجميع الخرسانة.



#### \* خواص الخرسانة والمواد المستخدمة في المضخات: أ - الركام:

عموماً فإن الركام الدائري يفضل عن الركام الزاوي، ولو أن كلاً منهما يُستخدم. وكذلك فإن الزلط والركام الصخري الغير قابل لامتصاص المياه تكون له الأولوية في الاستخدام. وعموماً فإنه للركام الزاوي المستخدم في المضخات، يجب ألا يزيد مقاسه الاعتباري الأكبر عن ثلث القطر الداخلي للمواسير حاملة الخرسانة أو مواسير الضخ أيهما أقل، في حين يصل هذا المقاس إلى 40% من القطر الداخلي في حالة الركام الدائري.

وأيضاً فإن الركام الأملس يكون أكثر تفضيلاً عن الركام الخشن. ومن المناسب ألا تتعدى نسبة الركام الكبير نسبة معينة حيث أن زيادته قد تسبب مشاكل كثيرة في الموقع، لذلك فإن مصمم الخلطة الخرسانية عليه أن يقلل محتوى الركام الكبير قليلاً عن الخلطة المستخدمة في طرق الصب العادية.

أما الرمل فهو يلعب دوراً أكثر أهمية حيث أنه مع الأسمنت والماء يمثل المونة الحاملة للركام الكبير. والرمل المستخدم في المضخات تتراوح معايير نعومته بين 2.13 و 3.37، ولو أن القيم العالية منه غير مفضلة؛ حيث أن الرمل الناعم يكون أكثر كفاءة؛ لمقاومته الجيدة للانفصال، وبالتالي يساعد على كفاءة الضخ، ولذلك نرى أنه يفضل استخدام رمل معايير نعومته بين 2.30 و 2.60.

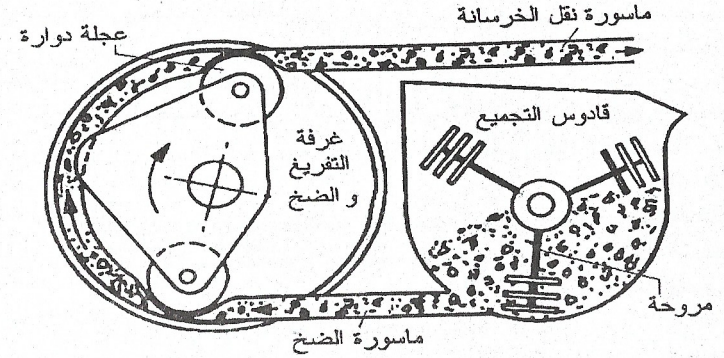
#### ب - الأسمنت:

يفضل استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي، وقد يمنع استخدام الأسمنت سريع التصلد، وخاصة في حالة المسارات الطويلة التي قد تؤدي إلى مشاكل كثيرة. أما محتوى الأسمنت فيتحكم فيه احتياجات كلاً من درجة التشغيلية ومقاومة الضغط المطلوبتان.

#### ج - محتوى الماء (Water Content):

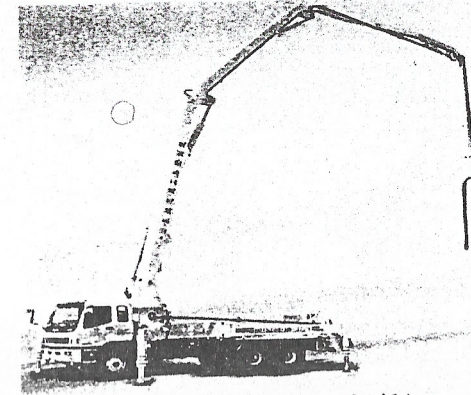
من أهم متطلبات الخرسانة المستخدمة في المضخات هو أن تكون قادرة على الضخ بدون حدوث إدماء أو انفصال في مكوناتها، وفي حالة غياب الإضافات، فإن الماء يلعب دوراً هاماً جداً، ويجب على المهندس في الموقع ألا يلجأ للزيادة العشوائية في الماء أملاً في الحصول على خرسانة سهلة الضخ؛ فإنه يؤدي إلى مشاكل وخيمة. فقد يحدث نزيف؛ مما يؤدي إلى نقص في المقاومة المتوقعة، وقد يحدث في حالة زيادة كمية المياه أن يسير الماء حاملاً أغلب حبيبات الأسمنت بسرعة ويترك الركام راقداً في المواسير، ومع مرور الوقت يحدث تراكم للركام؛ مما يؤدي إلى انسداد المواسير، وفي هذه الحالة، يرجع القائمون بالعمل هذه المشاكل إلى نظام المضخات، في حين أنه يعود لقلّة المعلومات والخبرة، انظر شكل (4-12).

- 2- ماسورة ضخ مرنة تتصل من جهة بقادوس التجميع المزود بمراوح لدفع الخرسانة، ومن جهة أخرى تتصل بماسورة الخرسانة.
- 3- وحدة الدفع؛ وهي مزودة بعجلتين دوارتين (أ، ب) تحدث اختناق في مواسير الضخ، ثم تدفع الخرسانة إلى أعلى وإلى الأمام، وجدير بالذكر أنها مزودة كذلك بغرفة لتفريغ الهواء أمام دفعة الخرسانة، مما يساعد على سهولة انسياب الخرسانة.
- 4- مواسير نقل الخرسانة؛ وهي إما مرنة أو جسنة.



شكل (11-4) مضخة الضغط والدفع

وهذه المضخات قوية لأن بها عدة وسائل لشحن الخرسانة بالطاقة؛ مثل المراوح ووحدات الدفع وعملية تفريغ الهواء. ومن المهم التنويه إلى أن مضخات نقل الخرسانة اليوم عبارة عن مضخات متحركة لأنها تتركب على سيارة والمواسير عبارة عن وصلات مفصلية تُستخدم لنقل الخرسانة، كما هو موضح بشكل (11-4) ب.



شكل (11-4) ب) مضخة متحركة

وفي المنشآت العالية كمناطحات السحاب يتم دفع الخرسانة بواسطة المضخة لمنسوب معين في المبنى، وعند ذلك المنسوب يتم خلط خرسانة جديدة يتم دفعها لباقي الطوابق بمضخة مثبتة عند هذا المنسوب.

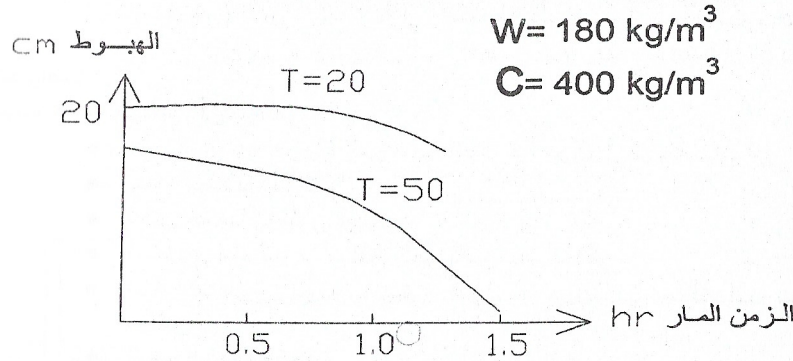


- 5- قبل بدء ضخ الخرسانة يجب تشغيل جميع الوحدات أولاً، والتأكد من صلاحيتها، ثم يلي ذلك ضخ مونة أسمنت في مواسير نقل الخرسانة، حتى تبطن بلباني الأسمنت الذي يقلل من الاحتكاك.
- 6- يفضل بعد فترة تشغيل أن يُضبط معدل صب ثابت، وغير مسموح بإيقاف عملية الضخ.
- 7- في حالة انسداد إحدى وصلات المواسير، فيتم إدخال قضيب من الصلب، وإلا فقد يُلجأ لضخ تيار من الماء أو الهواء.
- 8- يتم غسيل المضخة والمواسير عند نهاية العمل

#### 4.3.1 صب الخرسانة في الأجواء الحارة (Hot Weather Concreting):

في الأجواء الحارة حيث ترتفع الحرارة وتقل درجة الرطوبة وتزداد سرعة الرياح، تتأثر بمراس الخرسانة في مراحلها الثلاثة، ويجب على المهندس التحكم في صب الخرسانة؛ حتى لا من التأثيرات السلبية على الخرسانة.

- 1- تأثير الجو الحار على خواص الخرسانة الطازجة:  
إن الخرسانة يقل هبوطها اللطفي ويزداد فقد الهبوط مع الزمن، كما بالشكل (4-13)، ويلاحظ أن متطلبات ماء الخلط تزيد في الجو الحار.



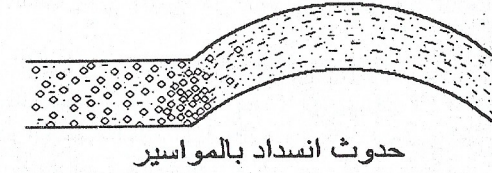
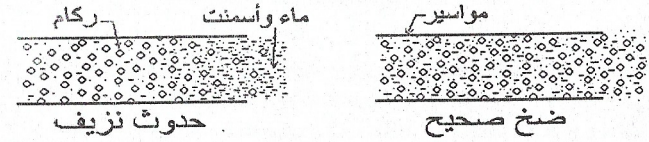
شكل (4-13) شكل تخطيطي يوضح تأثير الجو الحار على فقد الهبوط مع الزمن

#### 2- تأثير الجو الحار على الخرسانة الخضراء:

إذا تركت الخرسانة في الجو الحار بعد صبها دون معالجة، فتجف الخرسانة وتعرض لانكماش مبكر؛ يؤدي إلى ظهور شروخ بها تقلل من تحمليتها.

#### 3- تأثير الجو الحار على خواص الخرسانة المتصلدة:

يؤدي الجو الحار لزيادة مقاومة الخرسانة المبكرة؛ نظراً لزيادة معدلات التفاعل بين الأسمنت والماء، أما مقاومة الضغط عند 28 يوم و 90 يوم في حالة إهمال أخذ احتياطات كافية، فإنها تقل مع زيادة درجة الحرارة، وهذا النقصان يكون أكبر من 20% بالمقارنة بالأجواء العادية، وربما يعود ذلك إلى عدم انتظام تكون جل الأسمنت المتكون مبكراً نتيجة الجو الحار والتأثيرات السلبية على خواص الخرسانة الطازجة، انظر شكل رقم (4-14).



شكل (12-4) الضخ الصحيح وعيوب الضخ

#### د - الإضافات (Admixtures):

أحياناً يكون من الضروري إضافة بعض المواد إلى الخرسانة، وذلك لأداء غرض معين، ومن هذه المواد:

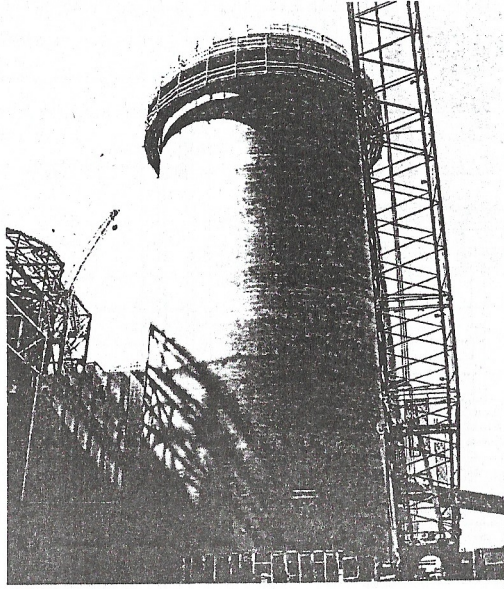
- المواد الملدنة Plasticizer.
- المواد الملدنة المؤجلة والمواد عالية التلدن Super-plasticizer.
- المواد المسببة للهواء المحبوس.

وهذه المواد كلها تسبب تحسن في درجة التشغيلية، ومنها من يؤجل شك الخرسانة ويقلل من فقد التشغيلية مع الزمن وقد تستخدم الإضافات المعدنية لتقليل النزيف والانفصال. ويلاحظ أن المواد الملدنة والعالية التلدن والمواد المسببة للهواء المحبوس تتميز بحفظ التجانس للخلطة وتقلل من ظاهرة انفصال أو نزيف الخرسانة. ومن المفضل أن تشير إلى أهمية استخدام المواد المؤجلة في حالة طول خط المواسير أو زيادة ارتفاع المنشأ، ومن الأمور الهامة للمهندس الاستشاري ألا يأخذ عينات الخرسانة (المكعبات والإسطوانات) من الخلطة؛ بل تؤخذ عند نهاية خط المواسير (مكان الصب) حيث أنه سيمثل الخرسانة في آخر مراحلها، ومن الضروري كذلك في حالة ملاحظة النزيف أو الانفصال بالعين أن يتخذ القرار المناسب.

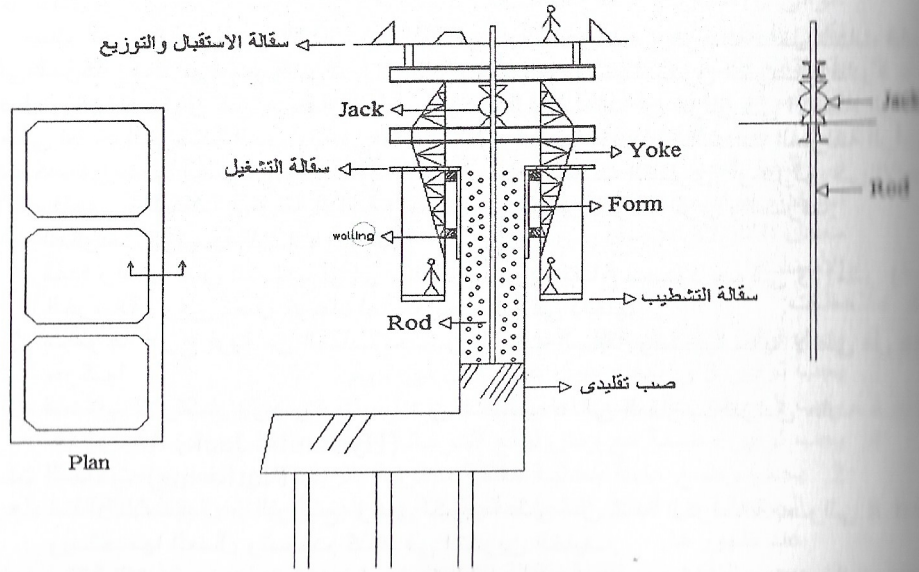
#### هـ - توصيات عامة (General Recommendation):

- 1- يجب ألا يكون تخطيط الموقع العام لوحات الضخ عشوائياً؛ بل يجب عمل تصميم مسبق، بحيث يقلل من فواقد الطاقة ويقلل الزمن.
- 2- مسار خط المواسير يفضل أن يكون المسار الذي به أقل انحناءات.
- 3- يجب أن يكون هناك وحدات إضافية جاهزة لتعويض أي جزء قد يصيبه العطل، سواء للخلطة أو للمضخة.
- 4- في حالة ضخ الخرسانة في مرتفعات، فيجب تزويد المواسير بالقرب من المضخة بصمام يمنع رجوع الخرسانة في الطريق العكسي، أما في حالة ضخ الخرسانة لأسفل لأغماق 15 متر أو يزيد فيجب وضع صمام لتصريف الهواء المتجمع، ولابد من حدوث تفريغ في منتصف مواسير نقل الخرسانة.

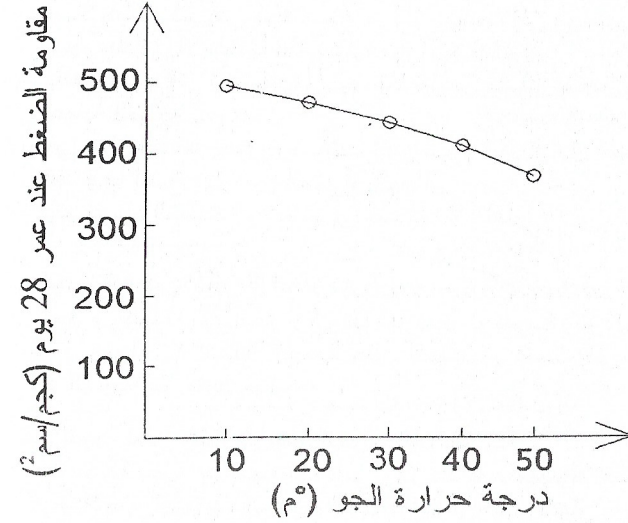




شكل رقم (15-4-أ) مثال لأحد المنشآت المستخدم فيها الشدة المنزلقة



شكل (15-4-ب) مسقط أفقي لصومعة وقطاع رأسي موضح عليه تركيب الشدة المنزلقة



شكل (14-4) تأثير درجة الحرارة المحيطة على مقاومة ضغط الخرسانة

#### \* الإحتياجات:

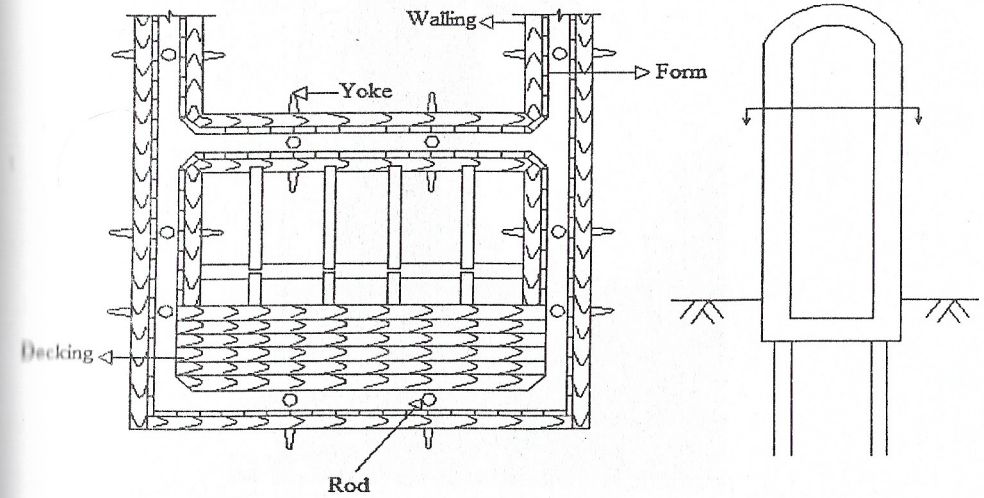
- يجب على المهندس أن يراعى ما يلي:
- لزيادة درجة حرارة الخرسانة الطازجة عن 35 درجة مئوية.
- عمل مظلات للركام.
- دهان المعدات بلون أبيض.
- استخدام ماء مبرد أو ثلج كجزء من ماء الخلط.
- الاهتمام بفرش ألواح بلاستيك (بولي إيثيلين) على سطح الخرسانة بعد الخلط مباشرة.
- الإسراع بالمعالجة.
- إضافة ألياف في القطاعات الغير مسلحة لتحمل إجهادات الشد الناشئة عن الانكماش، وتستخدم ألياف البولي بروبيلين بكفاءة في تلك الحالة، وقد لم استخدامها في تبطين الترع بمشروع توشكي بكفاءة.

#### 5.3.3-4 صب الخرسانة بالشدات المنزلقة:

شكل رقم (15-4-أ) يوضح أحد المنشآت (صومعة) التي يستخدم فيها الشدة المنزلقة.



شكل رقم (15-4-ب) يوضح قطاع رأسى فى الشدة المنزلقة لأحد حوائط صومعه وتفصيله لقضيب الارتكاز والمضخة.



شكل رقم (16-4) يوضح مسقط أفقي لترتيب اجزاء الشدة المنزلقة.

#### ● مقدمة:

صب الخرسانة بإسلوب الشدات المنزلقة هو عبارة عن صب خرسانة داخل شدات قادرة على الحركة وبعد فترة معينة تترك الخرسانة بعد شكها و بحيث تكون الخرسانة قادرة على تحمل وزنها و تكون فى مرحلة التصلب. وهذه الشدات إما أن تنزلق فى الاتجاه الرأسى فتعطى امتداد للخرسانة المصبوبة فى هذا الإتجاه وتسمى عند ذلك بالشدات المنزلقة الرأسية وتستخدم فى صب الصوامع وقلوب المنشآت العالية وبغلات الكبارى, أو تنزلق فى الاتجاه الأفقى فتسمى بالشدات المنزلقة الأفقية وتستخدم فى تبطين قنوات الرى والصرف.

#### ● المكونات الرئيسية للشدات المنزلقة:

1. شدة رأسية من الخشب أو أى مادة أخرى بارتفاع محدود حوالى 1.3 متر (شدة الخرسانة) وهى تعمل كوعاء لصب الخرسانة فى داخلها.
2. مجموعة أذرع قوية من الصلب تحتضن الشدات السابقة وتسحبها معها لأعلى فى حالة حركتها.
3. قضيب الارتكاز: وهو قضيب من الصلب عالى المقاومة تنزلق عليه مضخة هيدروليكية (Hydraulic Jack).
4. السقالات (Platforms):
  - سقالة الاستقبال و التوزيع: وهى تكون أعلى من شدة الخرسانة بحوالى 0.8 متر ويستخدمها العمال وتستخدم كذلك فى التشوين الخفيف.
  - سقالة التشغيل: وهى تركز على شدة الخرسانة وترص حولها, ويستخدمها العمال فى رص الصلب ويستخدمها عمال الصب فى صب الخرسانة.
  - سقالة التشطيب: وهى تعلق أسفل شدة الخرسانة ويستخدمها العمال فى معالمة الخرسانة وكذلك فى تشطيب أى عيوب فى الخرسانة.

المضخة الهيدروليكية: وهى مضخة مزودة بمجموعة مكابس وتتركز على قضيب الارتكاز وهى مزودة بقمطة علوية وقمطة سفلية, والقمطة السفلية تمسك فى مجموعة الأذرع ومما هو جدير بالذكر أن مجموعة الأذرع تكون فى أسفلها ممسكة بكمرتين على هيئة حرف C, ويمكن تلخيص عمل المضخة الهيدروليكية فيما يلى:

1. تمسك القمطة العلوية للمضخة بقضيب الارتكاز.
2. تكون القمطة السفلية حرة ونتيجة تشغيل ضغط الزيت تقفز وتتحرك لأعلى حاملة معها الأذرع وشدة الخرسانة والسقالات.
3. تنعكس دورة الزيت فتتمسك القمطة السفلية بالقضيب ومعها مكونات الشدة المنزلقة وتتحرك القمطة العلوية من القضيب لتقفز لأعلى مع ضغط الزيت.
4. تتكرر الدورة السابقة عدة مرات فتتزلق المضخة بسرعة متوسطة (30سم/ساعة) وهكذا تتحرك المضخة لأعلى أثناء صب الخرسانة لتترك الخرسانة بعد حوالى 4.5 ساعة بعد شكها الابتدائى ودخولها مرحلة الشك النهائى.

#### طريقة التشييد:

1. يتم صب الأساسات بالطريقة التقليدية.
2. يتم صب جزء من الحوائط بالطريقة التقليدية.
3. يتم رص الشدة كما هو مبين فى شكل (15-4-ب) و (16-4), وكما هو موضح بالأشكال يتضح أن كل خلية (Silo) تحتاج لعدة مضخات وعدة قضبان كما أن المضخات الصغيرة المرتكزة على القضبان تتصل بخراطيم بمضخة مركزية توضع أعلى شدة الاستقبال للتحكم فى ضخ الزيت فى المضخات المختلفة لكى تتحرك كلها بسرعة واحدة حاملة معها الشدات والسقالات.
4. يتم صب الخرسانة فى الشدة لكامل المقطع الأفقى على هيئة طبقات سمك الطبقة حوالى 10سم ويتم تشغيل المضخات لتتحرك الشدات وبعد فترة حوالى 4.5 ساعة تكون الخرسانة مكشوفة فى الهواء بعد شكها.
5. يتم تتابع الصب و الانزلاق من بداية المنشأ إلى نهايته حيث يتم العمل 24 ساعة فى الموقع وبأخذ معدل انزلاق 30سم/ساعة فإنه يتم صب حوالى 7متر فى اليوم, ويكون صب المنشأ متكامل مرة واحدة بدون فواصل.
6. فى الجو الحار يجب زيادة معدل الصب لتصل إلى حوالى 60سم/ساعة مع استخدام مواد مؤجلة لشك الأسمنت إن تطلب الأمر, وفى الجو البارد يتم إبطاء معدل الانزلاق ليصل إلى حوالى 20سم/ساعة مع استخدام مواد معجلة لشك الأسمنت.

#### ● ملاحظات:

1. يجب توفير إنارة قوية فى الموقع.
2. يجب توفير 3 ورديات عمل على الأقل فى اليوم.
3. يجب الحرص على صب الخرسانة على هيئة طبقات سمكها صغير حتى تشك معاً.
4. يجب توفير مضخة مع ونش لرفع الخرسانة و صلب التسليح والعمالة لأعلى.
2. يجب وضع علب معدنية مغلقة مدهونة بالزيت من الخارج فى داخل شدة الخرسانة فى أماكن الفتحات المطلوبة فى المنشأ ويستخرجها عمال التشطيب عند ظهورها.
3. يجب التأكد من أفقية سقالة التشغيل باستخدام الموازين والأجهزة المساحية والتأكد من رأسية المنشأ باستخدام الأجهزة المساحية وتعليق أثقال بحبال من السقالات لمراقبتها للحكم على رأسية شدة الخرسانة.



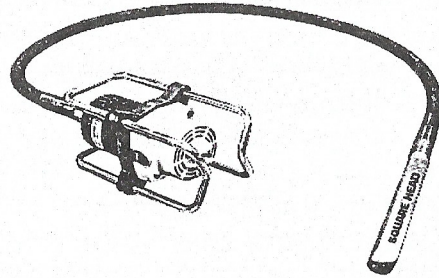
#### 4-3-4 دمك الخرسانة:

ويهدف به محاولة الحصول على أعلى كثافة للخرسانة؛ عن طريق نقل طاقة خارجية للخرسانة الطازجة، مما يسهل تحريكها لملء الفراغات، ويتم الدمك إما:

- 1- يدوي: للخرسانة ذات التشغيلية العالية.
- 2- ميكانيكي: باستخدام هزازات داخلية (ذات زمبة) أو هزازات خارجية تقوم بدمك العضو الخرساني.

ويجب أن تتم عملية الدمك بطريقة صحيحة بحيث لا يحدث نزيف للخرسانة. ويجب أن يكون قطر الزمبة مناسب للمسافة الخالصة بين حديد التسليح، ويجب الدمك على خطوات في الاتجاه الطولي بحيث تكون المسافة بين كل خطوة لا تزيد عن مرة ونصف قطر الهزاز، كما يجب الدمك على طبقات الصب بحيث لا تشك الطبقة السفلية قبل دمك الطبقة العلوية، حيث يجب أن يخترقها الهزاز. لاحظ أن دمك الخرسانة له عدة فوائد منها:

- 1- زيادة وحدة وزن الخرسانة وإقلال الفراغات.
  - 2- السماح بتخفيض محتوى الماء المستخدم، وبالتالي رفع المقاومات للخرسانة.
  - 3- السماح بتخفيض محتوى الرمل، وما يتبعه من تحسن في مقاومة ضغط الخرسانة.
  - 4- في حالة وجود هزازات قوية، فإن تخفيض ماء الخلط يسمح بتوفير الأسمنت لنفس مقاومة الضغط.
- وشكل (18-4) يوضح صورة لأحد الهزازات الداخلية ويجب أن توقف عملية الدمك بمجرد ظهور حبيبات ماء الخلط على سطح الخرسانة. ويجب إيقاف الدمك عندما تظهر حبيبات الماء على السطح العلوي.



شكل (18-4) صورة لأحد الهزازات الداخلية

#### 4-3-5 فواصل الصب:

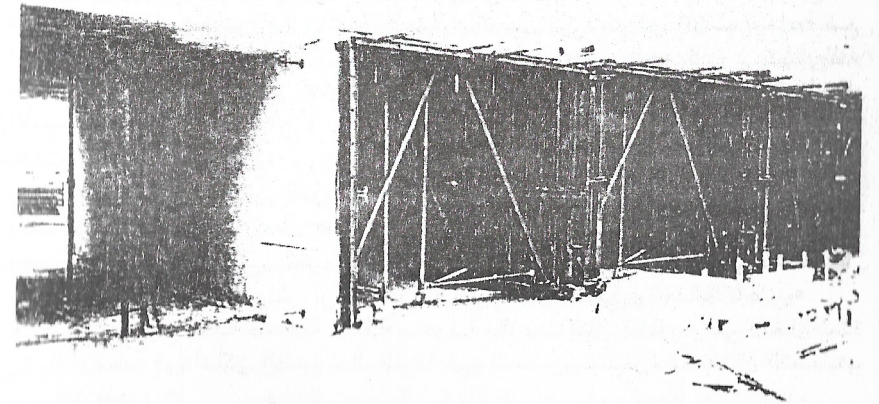
والمقصود بها الأماكن التي سيتم إيقاف الصب عندها بعد انتهاء يوم العمل، أو إذا كان هناك احتمال لانتفاء مادة من مكونات الخرسانة. يقوم المهندس بحساب معدلات الصب اليومية، وبناء عليها يحدد مسبقاً أماكن فواصل الصب، ويُفضل دائماً أن تكون في الأماكن التي بها أقل قوى قص وبالقرب من نقاط انقلاب العزوم، ويُفضل دائماً أن يقوم المهندس بوضع أجزاء صغيرة من أسياخ التسليح في الخرسانة لتعمل كوصلات قص (Shear Connector)، انظر شكل رقم (19-4).

4. في حالة الرغبة في سحب قضيب الارتكاز من الخرسانة بعد انتهاء التشديد والذي يورد على هيئة وصلات يتم تركيبها بقلالوظ، يقوم المهندس بوضعه في ماسورة من الـ PVC قطرها الداخلي أكبر من قطر القضيب بمليمترات.
5. يجب وجود معدات احتياطية أثناء التنفيذ.
6. يجب على المهندس التخطيط الجيد لكيفية فك الشدة عند نهاية التنفيذ وكيفية صب الصومعة إن وجد.
10. هذه الطريقة اقتصادية في المنشآت العالية.

#### 6-3-3-4 صب الخرسانة بالشدات النفقية وبواكي الصلب الكبيرة:

وفكرة هذه الشدات هو عمل شدات من أخشاب الأبلاكاج أو الصلب تغطي باكية كاملة لصب حائط مسلح أو بلاطات على هيئة بواكي ولذلك تستخدم هذه الشدات في المباني المتكررة وحالياً على مستوى العالم يتم استخدام شدات نصف نفقية (تغطي شدة الحائط ونصف البلاطة وهي على هيئة حرف I مقلوب) وتستخدم كذلك الشدات النفقية (تغطي شدة البلاطة والحائطين الحاملين لها وهي على هيئة حرف C مقلوب). يتم رص الشدات للطابق الواحد سواء أكانت شدة حائط أو شدة بلاطة أو شدة نصف نفقية أو شدة نفقية.

يتم رص صلب التسليح للحوائط والبلاطات والذي يكون على هيئة شبك ملحوم لأسياخ في اتجاهين متعامدين. يتم صب الخرسانة وعينات على هيئة مكعبات في الشدات السابقة ويتم تعجيل شك الخرسانة بإضافة مواد معجلة للخرسانة أو إمرار تيار ماء ساخن في مواسير تحيط بالشدات. يتم فك الشدات بطرق خاصة بعد مرور 24 ساعة من صب الخرسانة (يتم اختبار العينات الموضوعة مع السقف للتأكد من تحقيق الخرسانة للمقاومة المطلوبة لفك الشدات). يتم نقل الشدات بونش للطابق الجديد حيث يتم صب سقف كل 24 ساعة أو 48 ساعة على الأكثر وشكل (17-4) يوضح صورة لأحد هذه الأنظمة.



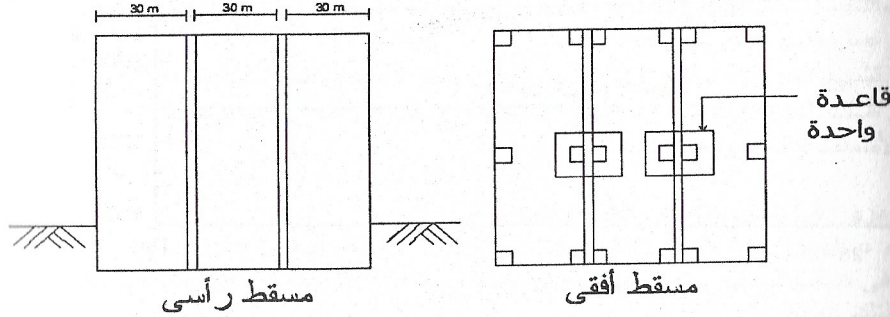
شكل (17-4) شدة نفقية

وسيتم مناقشة هذا الأسلوب بالتفصيل في الطبقات اللاحقة.



ويجب على المهندس إغلاق الفاصل من أعلى المبنى بحيث لا تتسرب مياه الأمطار إلى داخل المبنى.

يجب على المهندس الاهتمام جداً بفواصل التمدد للكباري , والحرص على اختيار أفضل المواد لملء تلك الفواصل , وعمل صيانة دائمة لها , وأى تلف فى تلك الفواصل يُعرض المنشآت لتسرب ماء المطر, مما ينشر الرطوبة فى المبنى ويعجل معدلات ضداً صلب السليح المبنى, وشكل (20-4) يوضح ما يتعلق بفواصل التمدد.



شكل (20-4) شكل تخطيطي يوضح فواصل التمدد

4-4 مرحلة الخرسانة الخضراء والمتصلدة:  
وتشمل عملية المعالجة وإزالة القرم ومعالجة عيوب الصب.

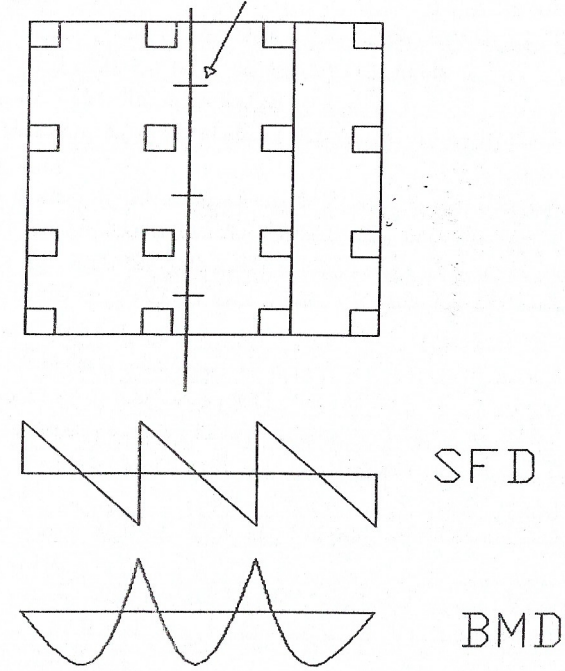
#### 4-4-1 المعالجة:

بعد صب الخرسانة, تبدأ الخرسانة فى الشك والتصلد, وتبدأ فى فقد الماء الداخلى نتيجة العوامل الجوية من ارتفاع درجة الحرارة ونقص فى الرطوبة والرياح. ولتقليل وتأخير حدوث الانكماش وبالتالي منع وإقلال شروخ الانكماش وتعويض الماء اللازم لتفاعل الأسمنت لتحسن المقاومة , يجب معالجة الخرسانة وتتم معالجة الخرسانة عن طريق:

- رش الخرسانة بالمياه.
- التغطية بالخيش أو الرمل المبلل.
- دهان الخرسانة بمادة عازلة؛ ويجب أن تحقق تلك المادة اشتراطات المواصفات القياسية لمنع تبخر المياه.
- المعالجة بالبخر؛ ويستخدم فى مصانع الخرسانة سابقة التجهيز.

يوضح شكل (21-4) تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة.

shear connectors



شكل (19-4) شكل تخطيطي يوضح أماكن فواصل الصب

#### 6-3-4 فواصل التمدد والانكماش:

يجب على المهندس أن يسمح للمنشأ بالتمدد والانكماش نتيجة العوامل الجوية, وإلا تتولد إجهادات يجب عليه أن يدخلها فى التصميم الإنشائى, ويتطلب الكود المصرى للمنشآت الخرسانية أن يترك فاصل تمدد فى الأجواء الحارة كل مسافة لا تزيد عن 30 - 35 متر, ولا تزيد عن 40 - 45 متر فى الأجواء المعتدلة.

وتمثل الأسوار حالة خاصة, حيث مفضل أن ألا تزيد المسافة عن 20 متر, ويجب على المهندس عمل فصل فى الأعمدة والكمرات, ولا يفضل عمل فصل فى القواعد؛ حيث تكون هناك قاعدة واحدة لعمودين, ويجب وضع مادة فى الفاصل, ويجب أن تكون هذه المادة تتميز بالمرونة العالية لتحتمل دورات التمدد والانكماش.

ويجب اعتبار تلك المواد بحيث تكون قابلة على تحقيق انضغاط مرن معين قياسى من سمكها, ثم تكون قادرة على استرجاع الانضغاط بعد زوال الحمل من عليها, وتحسب المسافة بين فواصل التمدد  $\Delta l_t$  كما يلى:

$$\Delta l_t = F \Delta l$$

$$\Delta l = \alpha l_o \cdot \Delta t$$

$\Delta l$  الاستطالة الناتجة من التمدد.

$\alpha$  معامل التمدد الحرارى.

$l_o$  طول الجزء من المبنى بين فواصل التمدد.

$\Delta t$  الفرق فى ارتفاع درجة الحرارة.

$F$  معامل تكبير يتوقف على حالة الجو ونوع المنشأ.



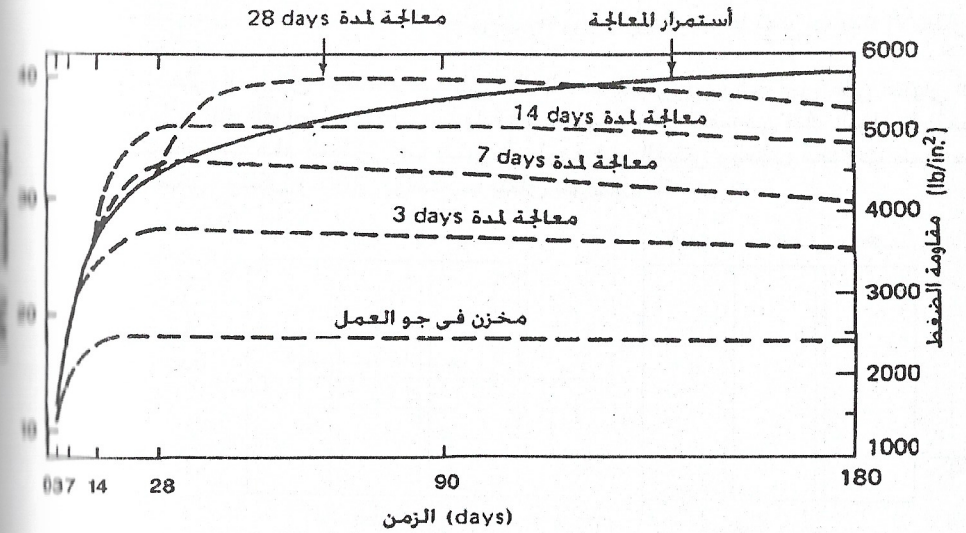
حدوث تعشيش بالقطاعات الخرسانية:  
وتعالج بواسطة النحت لإظهار مكان التعشيش وتنظيفها ورشها بالماء والمعالجة بمونة أسمنتية غنية (3 رمل خشن: 1 أسمنت + ماء كافٍ للتشغيل ويمكن استخدام إضافة لتحسين التشغيلية).

حدوث فجوات ذات حجم كبير:  
• يتم النحت لتحديد مكان الفجوة وتنظيفها.  
• يتم عمل قالب حول الفجوة.  
• يتم تشبييع الخرسانة بالماء قبل الصب بـ 24 ساعة أو دهان الخرسانة بمادة لاحمة.  
• يتم صب الفجوة بخرسانة من الزلط (مقاس اعتباري أكبر 8/3 بوصة) والرمل والأسمنت والماء ومادة ملدنة.

حدوث بروز في الخرسانة عن القطاع المعماري:  
يتم عمل جز لتلك الخرسانة إذا كانت خرسانة عادية، أما إذا كان البروز يتبع حركة في صلب التسليح، فإنه يجب تسوية السطح بإضافة طبقات إضافية مع استخدام اسارح لتلك الطبقات.

ظهور حديد التسليح في بعض الأماكن:  
يتم تنظيف حديد التسليح ورشه بخليط غني من الأسمنت والماء أو دهانه بإيبوكسي على بالزنك. يتم عمل غطاء سمكه لا يقل عن 2 سم من مونة الأسمنت الغنية.

حدوث ميل بالأعمدة:  
لا يزيد ميل الأعمدة الداخلية عن 1 : 1200 وذلك حتى إرتفاع 30 متر ولأعمدة الأركان لا يزيد الميل في كل 6 متر عن 1 : 1200 وفي 30 متر عن 1 : 2000



شكل (21-4) تأثير مدة المعالجة على العلاقة بين مقاومة الضغط و الزمن والشكل يوضح أن المعالجة تسبب تحسن مقاومة الضغط حتى لو لم تبدأ المعالجة مبكراً.

#### 2-4-4 إزالة القرم:

يتم فك الشدة عندما تصل مقاومة الخرسانة إلى قيمة تمكن العضو الخرساني من تحمل الإجهادات الناشئة عن وزنه، أو أي أحمال ناتجة عن خطوات التشييد اللاحقة. ويجب التأكد من عدم حدوث ترخيم أو تشكّل كبير. ويمكن حساب الزمن الذي يمكن فك الشدات للقطاعات المعرضة لعزوم انحناء بالتقريب من المعادلات الآتية (طبقاً للكوود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية):

نوع الأسمنت	بورتلاندي سريع التصلد	بورتلاندي عادي
كمرات أو بلاطات	$t = L_B + 1$	$t = 2L_B + 2$
كابولي	$t = 2L_C + 1$	$t = 4L_C + 2$

حيث  $L_B$  بحر الكمره أو البلاطة و  $L_C$  بحر الكابولي،  $t$  قيم الزمن باليوم اللازم لفك الشدة. يتم فك الشدة للأعضاء المعرضة للضغط مثل الأعمدة والحوائط بعد مرور 24 ساعة من الصب، ومن المهم التأكيد على أن يقوم المهندس باختبار شك الخرسانة يدوياً بعد مرور يوم من الصب عن طريق دق مسمار صلب بها للتأكد من شكها الظاهري وذلك في حالة عدم وجود عينات لاختبارها في مقاومة الضغط وكمثال لو سقف بحر كمراته 6 متر فيتم فك الشدات بعد 14 ، 7 أيام لو استخدم أسمنت بورتلاندي عادي أو أسمنت سريع التصلد على الترتيب .

#### 3-4-4 معالجة عيوب الصب:

بعد فك الشدات يجب على المهندس التفطيش على الخرسانة، ورصد عيوب الصب وترميمها؛ والتي تنحصر فيما يلي:



## الباب الخامس

### تصميم الخلطات الخرسانية (Concrete Mix Design)

#### 1-5 مقدمة:

المقصود بتصميم الخلطة الخرسانية ، هو تحديد مكونات الخلطة من رمال وركام كبير وأسمنت وماء وإضافة إن لزم الأمر. وهذه الخلطة يجب أن تحقق الخواص المرغوبة في كلا من الخرسانة الطازجة والخرسانة المتصلدة للمنشأ.

وحيث أن الركام لا يلعب دوراً أساسياً في التأثير على مقاومة الخرسانة العادية الوزن ذات مقاومة ضغط مميزة أقل من 40 ن/مم<sup>2</sup>، وذلك بعكس الخرسانة الخفيفة أو الخرسانة الثقيلة، فإن مونة الأسمنت تلعب الدور الهام في هذا الأمر. ومن المعلوم أن المادة الفعالة عند إمهاء الأسمنت والماء هي سيليكات الكالسيوم الممائية، وهي ناتجة عن إمهاء كلاً من ثالث وثاني سيليكات الكالسيوم، وهذه المادة يطلق عليها جل الأسمنت. وهي تتميز بالدونة في مرحلة الخرسانة الطازجة، وتتميز بكونها مادة شديدة الصلابة ثابتة كيميائياً في حالة الخرسانة المتصلدة. وهذه المادة تعمل أساساً على ربط جزيئات الخرسانة ببعضها ببعض. وكلما زاد تركيز جل الخرسانة، تحسنت جميع مقاومتها وتحسنت تحمليتها. ويمكن التعرف على توزيع الفراغات والجل داخل الخلطة الخرسانية بفحص عينة من الخرسانة، كما هو موضح بشكل (1-5).

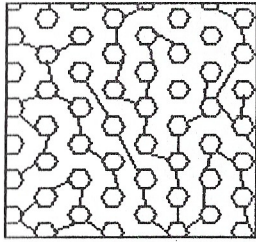
ومن الواضح من شكل (1-5-ب)؛ الذي يمثل توزيع الجل في حالة نسبة ماء إلى أسمنت مرتفعة، أن تركيز الجل قليل، وأن الفراغات بها نسبة عالية متصلة ببعضها. وفي حالة نسبة ماء إلى أسمنت منخفضة (مثل خلطة خرسانية بها نسبة الماء إلى الأسمنت = 0.4) من الواضح أن تركيز الجل فيها عالي، وأن الفراغات فيها أقل إتصالاً. وبناءً على ماسبق يتضح أهمية نسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطة الخرسانية؛ حيث كلما قلت تلك النسبة، يزيد تركيز المادة الجامدة وتقل نسبة الفراغات المتصلة، وعليه تتحسن مقاومة الضغط وتحملية الخرسانة، ويتضح ذلك من شكل (2-5) الذي يوضح العلاقة بين w/c ومقاومة الضغط لعدة دراسات سابقة.

وعلى هذا الأساس، استخدمت جميع الكودات العالمية نسبة الماء إلى الأسمنت كعامل أساسي؛ لتحقيق مقاومة الضغط المطلوبة وتحقيق تحملية مطلوبة للمنشأ لكي يخدم بأمان خلال عمره الافتراضي.

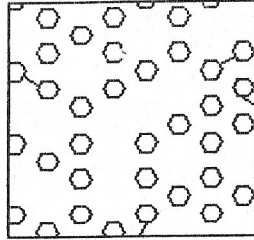
#### 2-5 العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة:

يمكن تلخيص العوامل تلك في الشكل (3-5) وتلك العوامل تعتمد أساساً على خواص المواد المستخدمة في الخلطة وطريقة التنفيذ ونوع الدمك وخواص المنشأ من جهة قطاعاته وتسليحه ومتطلبات المنشأ من جهة الظروف المحيطة به ومقاومة الضغط التصميمية له ومستوى الشركة المنفذه.

## فراغات غير شعيرية فراغات شعيرية



خرسانة  
W/C=0.70  
C=400 Kg/m<sup>3</sup>



خرسانة  
W/C=0.40  
C=400 Kg/m<sup>3</sup>

W/C (water cement ratio)  
C (cement content)

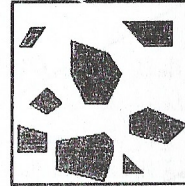
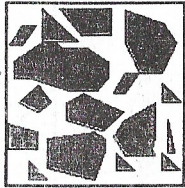
شكل (1-5-أ) زيادة نسبة الفراغات الشعيرية بزيادة W/C

تركيز جل أقل

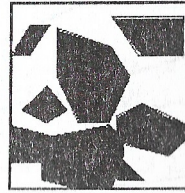
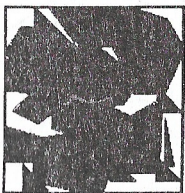
نسبة الماء إلى  
الأسمنت منخفضة

نسبة الماء إلى  
الأسمنت مرتفعة

حببيات الأسمنت  
معلقة في الماء



أسمنت مماء  
بالكامل

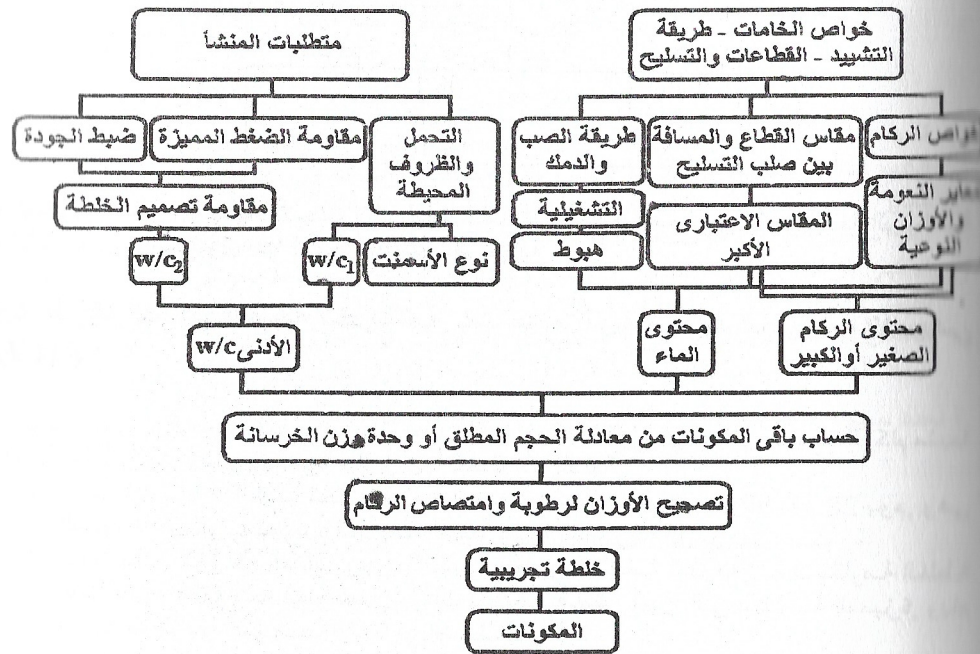


إنفاذية قليلة  
=  
مقاومة عالية

إنفاذية عالية  
=  
مقاومة قليلة

شكل (1-5-ب) زيادة الجل ونقص الإنفاذية بنقص نسبة الماء للأسمنت





شكل (3-5) العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة .

### 3-2-1 تحديد المقاومة التصميمية للخلطة الخرسانية:

#### Mean Strength or Mix Design Strength:

الوقوف قيمة المقاومة التصميمية للخلطة ( $F_m$ ) على المقاومة المميزة للخرسانة ( $F_{cu}$ )؛ والتي يقوم المهندس باختيارها على أساس نوعية المنشأ المزمع إنشاؤه وأهميته، وكذلك على مستوى الشركة المنفذة وجودتها؛ وذلك على أساس نتائج للأعمال السابقة لها. ويظهر جودة تحكم الشركة في قيمة الانحراف المعياري ( $S$ ) للمقاومات، الذي يعبر عن مدى مستوى أعمالها. ويمكن حساب المقاومة المتوسطة أو المستهدفة باستخدام المعادلة الآتية:

$$F_m = F_{cu} + M$$

حيث  $M$  هو هامش الأمان (Margin).

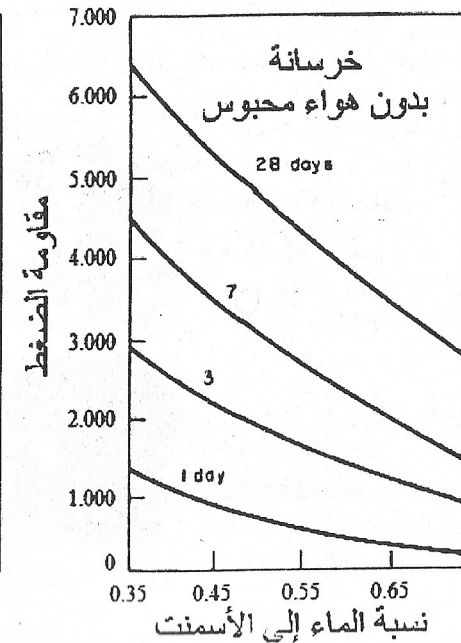
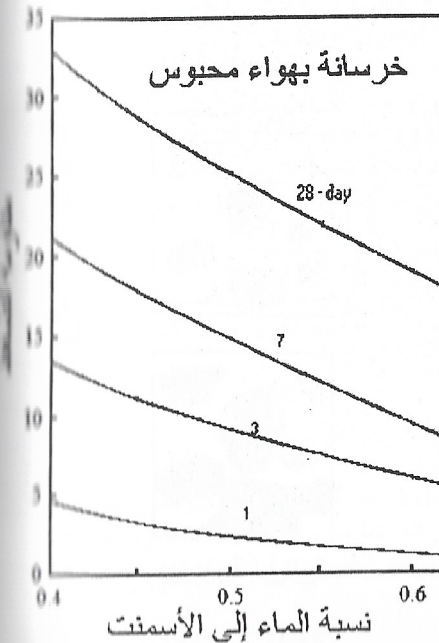
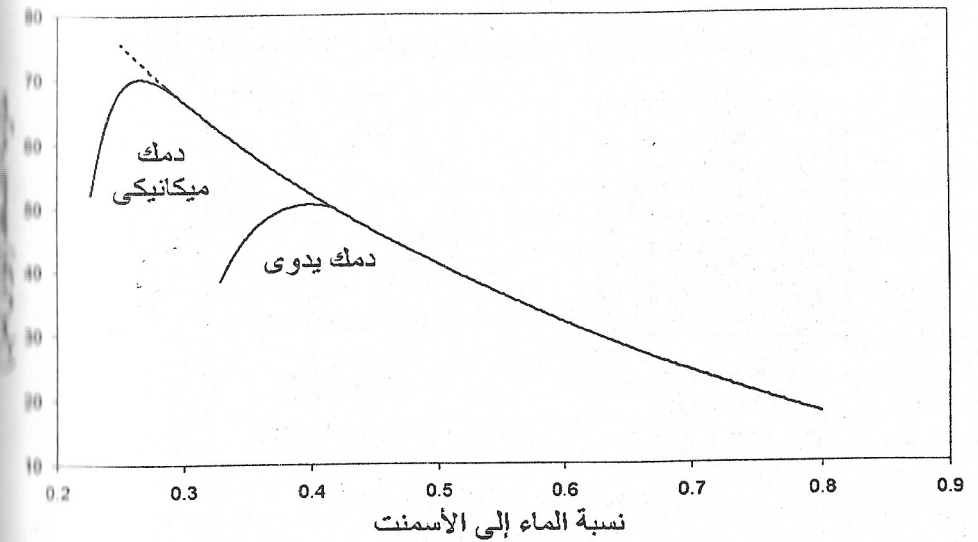
ويعتمد معامل الأمان ( $M$ ) على مدى الاختلاف الذي يحدث أثناء تنفيذ المشروع؛ من اختلاف وتغير للمواد المستعملة وعدم وجود رقابة، وكذلك مقدار التغير الحادث أثناء أخذ العينات والاختبارات. ويمكن حساب معامل الأمان باستخدام المعادلة الآتية:

$$M = KS$$

حيث  $S$  الانحراف المعياري للمقاومات،

$K$  يعتمد على نسبة عدد الاختبارات التي من المتوقع أن تعطى مقاومة أقل من  $F_{cu}$ ، ويمكن تحديد قيمته من جدول (1-5).

جدول (1-5) قيم المعامل الإحصائي  $K$



شكل (2-5) علاقات مختلفة بين نسبة الماء إلى الأسمنت ومقاومة الضغط



$$C = \frac{W}{W/C}$$

قامت هذه الطريقة بعمل دراسة معملية عن طريق المحاولة والخطأ؛ لتحديد حجم الركام الكبير بالمتر المكعب اللازم لإنتاج متر مكعب خرسانة في حالة استخدام رمال ذات معايير نعومة مختلفة، وذلك للأنواع المختلفة من الركام الكبير (ركام ذو مقاس اعتباري أكبر متغير)، وهذا موضح بالجدول (5-7). وعليه فإنه بمعلومية المقاس الاعتباري الأكبر للركام الكبير ومعايير نعومة الرمل المستخدم، نحدد حجم الركام الكبير (Vg) بالمتر المكعب اللازم لإعطاء 1 م<sup>3</sup> من الخرسانة، جدول (5-7). ويلاحظ أنه كلما زاد المقاس الاعتباري الأكبر تزيد الحاجة للركام الكبير لزيادة نسبة الفراغات فيه. وبالمثل تزداد الحاجة للركام الكبير كلما قل معايير نعومة الرمال المستخدمة.

يحدد حجم الركام الكبير الجامد بدون فراغات كما يلي:

- يحدد وزن الركام الكبير (Wg).

$$Wg = \gamma Vg$$

- يحدد الحجم الجامد للركام الكبير بدون فراغات (Vgs) من المعادلة:

$$Vgs = \frac{Wg}{Gsg}$$

حيث Vg حجم الركام بما فيه من فراغات.  
 $\gamma$  وحدة الوزن للركام الكبير.  
 $Gsg$  الوزن النوعي للركام الكبير.

10. يتم تحديد حجم الرمل الجامد المستخدم من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$W/1 + C/3.15 + Vgs + Vss + A = 1$$

حيث C وزن الأسمنت ووزنه النوعي = 3.15.  
 $W$  وزن الماء ووزنه النوعي = 1.  
 $Vgs$  الحجم الجامد للركام الكبير.  
 $Vss$  الحجم الجامد للرمال.  
 $A$  محتوى الهواء المحبوس.

وبلاحظ أن الطريقة السابقة تفترض أن أحجام المواد الجامدة للأسمنت والماء والرمل والركام الكبير والهواء المحبوس عرضاً بعد الدمك تعطى 1 م<sup>3</sup> خرسانة.

11. يتم تحديد وزن الرمل (Ws) بمعلومية حجمه الجامد؛  $Vgs \cdot Gss = (Ws)$ ، وبالتالي أمكننا تحديد مكونات الخلطة التجريبية من محتوى ماء وركام كبير وركام صغير وأسمنت.

12. يجب عمل خلطات تجريبية وقياس الهبوط ووحدة الوزن ومقاومة الضغط في زمن مبكر وبعد 28 يوم. وإن وجد هناك اختلاف في وحدة الوزن، فيجب ضبط نسب الخلط وكذلك الهبوط. ويمكن عن طريق هذه النسب المعدلة تحديد كلاً من الحصيلة ومعامل الأسمنت.

13. يتم عن طريق معرفة سعة الخلطة المستخدمة تصميم العنوت.

K	نسبة عدد الإختبارات التي من المتوقع أن تقل عن $F_{cu}$ بمقدار
2.33	% 1
1.64	% 5
1.28	% 10

والجدول السابق يوضح الاحتمالات المستخدمة في الكود المصري والمواصفة البريطانية والألمانية، وسيتم تناول هذا الأمر بالتفصيل في نهاية الباب.

### 3-5 طريقة تصميم الخلطة الخرسانية باستخدام طريقة معهد الخرسانة الأمريكي (ACI):

يمكن تصميم الخلطة الخرسانية بناءً على تلك الطريقة التي تفترض أن حبيبات الركام مشبعة داخلياً تماماً بالماء ولكن سطحها جاف، تدعى للخطوات التالية:

1. بناءً على نوع المنشأ تحدد مقاومة الضغط التصميمية للأسطوانة بعد 28 يوم، وهي المقاومة المطلوب تصميم مقاطعات المنشأ عليها (المقاومة المميزة).  
 2. بناءً على الشركة المنفذة وجودة التحكم وطريقة التنفيذ المتبعة، نحدد مقاومة الخلطة التصميمية (المقاومة المتوسطة)، وذلك بإضافة هامش أمان إلى المقاومة المميزة، ويتم تعيينه بالطريقة الموضحة لاحقاً في ضبط الجودة.

3. بناءً على المحاجر القريبة نحدد نوع الركام الكبير، ونحدد المقاس الاعتباري الأكبر للركام الكبير  $= 1/2$  المسافة الخالصة بين حديد التسليح و  $1/4$  البعد الأدنى في القطاع الخرساني، ويوجد جدول تنص عليه ACI لحساب المقاس الاعتباري الأكبر ولكنه غير مناسب للإستخدام في مصر. ثم نحدد وحدة الوزن للركام الكبير ( $\gamma$ ) والوزن النوعي لكلاً من الرمل والركام الكبير ( $Gsg, Gss$  على الترتيب).

4. يحدد قوام الخرسانة المناسب بناءً على نوع المنشأ ويتم تحديد الهبوط المستخدم، ومن المناسب كذلك أن يأخذ المصمم نوع وطريقة الصب والتشديد في الاعتبار، جدول (5-2).

5. بمعلومية المقاس الاعتباري الأكبر للركام والقوام، نحدد كمية المياه بالتر/م<sup>3</sup> خرسانة (محتوي الماء = W)، وذلك من جدول (5-3)، سواء كانت الخرسانة بها هواء محبوس أم لا (الهواء المحبوس لمقاومة تكون وذوبان الثلج)، وتحدد نسبة الهواء من نفس الجدول.

6. طبقاً للظروف المحيطة والعوامل الكيميائية وطريقة التشديد، نحدد نوع الأسمنت المستخدم.

7. نحدد نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) من جدول (5-4) بناءً على مقاومة الاسطوانة للضغط المتوسطة، ومن جدول (5-5) في حالة تعرض المنشأ لمهاجمة بالكبريتات أو تعرضه لظروف أو مهاجمات أخرى غير مناسبة كما بجدول رقم (5-6) (شرط التحمل) ويقوم المهندس باختيار نسبة الماء إلى الأسمنت الأقل التي تحقق شرط المقاومة وشرط التحمل ويختار نوع الأسمنت ومقاومة الضغط الدنيا. والمعادلة التالية تربط بين مقاومة ضغط الخرسانة للأسطوانة ( $F_{cy}$ ) ومقاومتها للمكعب  $F_{cu}$  بالكم/سم<sup>2</sup>.

$$F_{cy} = (0.76 + 0.2 \log \frac{F_{cu}}{200}) F_{cu}$$

8. بمعرفة نسبة الماء إلى الأسمنت نحدد محتوى الأسمنت.



14. يجب عمل خلطات فى الموقع وقياس الهبوط وتحديد مقاومة الضغط فى ظروف الموقع.

\* ملاحظات:

- يجب تعديل نسب الخلط على أساس نسبة الرطوبة الموجودة بالركام، وكذلك نسبة امتصاص الركام للمياه. فإذا احتوى الركام على رطوبة حرة قيمتها  $m\%$  من وزن الركام الجاف، فيمكن إيجاد كمية المياه الموجودة فى الركام (X) من المعادلة الآتية:

$$m/100 = \frac{X}{A - X}$$

$$X = A \frac{m}{100 + m}$$

حيث A هي وزن الركام فى صورته الطبيعية و X هي كمية المياه.

ويكون وزن الركام المصحح ( $A'$ ) كما يلى:

$$A' = A + X$$

ويكون محتوى الماء  $W'$

$$W' = W - X$$

- أما إذا كان للركام الجاف (A) نسبة امتصاص (n)، فيمكن حساب كمية المياه الممتصة ( $X_a$ ).

$$X_a = A \frac{n}{100}$$

وتضاف هذه القيمة إلى وزن الماء، فيصبح وزن الماء المصحح ( $W'$ ).

$$W' = W - X$$

ومن المهم التنبيه أنه يجب إضافة وزن الماء الممتص إلى كثافة الخرسانة النظرية.

جدول (3-5) محتوى الماء التقريبي بالكم للمتر المكعب، وكذلك محتوى الهواء المحبوس\*

المقاس الاعتيادى الأكبر للركام مم							هبوط (سم)
70	50	40	25	20	12.5	10	
خرسانة بدون هواء محبوس							
145	155	160	180	185	200	205	5-2.5
160	170	175	195	200	215	225	10-7.5
170	180	185	205	210	230	240	18-15
0.30	0.5	1	1.5	2	2.5	3	نسبة الهواء
خرسانة ذات هواء محبوس							
135	140	145	160	165	175	180	5-2.5
150	155	160	175	180	190	200	10-7.5
160	165	170	185	190	205	215	18-15
3.5	4	4.5	4.5	5	5.5	6	نسبة الهواء المحبوس بجزء متوسط القساوة

\* قيم محتوى الماء موضوعه لركام مكسر ويجب تخفيض 18 كجم عند استخدام ركام دائري

جدول (4-5) يبين مقاومة ضغط الاسطوانة بعد 28 يوم ونسبة الماء إلى الأسمنت

مقاومة الضغط كجم/سم <sup>2</sup>		نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن	
		خرسانة ذات هواء محبوس	خرسانة بدون هواء
450	0.37	-	-
400	0.42	-	-
350	0.47	0.39	0.47
300	0.54	0.45	0.54
250	0.61	0.52	0.61
200	0.69	0.60	0.69
150	0.80	0.71	0.80

جدول (5-5) متطلبات تحمل خرسانة تتعرض لمهاجمة الكبريتات.

المقاومة الدنيا ( $N/mm^2$ )	W/C	نوع الأسمنت	SO <sub>4</sub> فى الماء (جزء فى المليون)	المهاجمة بالكبريتات
-	-	-	0 < SO <sub>4</sub> < 150	مهلة
28	0.50	بورتلاندى مخلوط أسمنت معدل	150 < SO <sub>4</sub> < 1500	متوسطة
31	0.45	أسمنت مقاوم للكبريتات	1500 < SO <sub>4</sub> < 10000	عالية
31	0.45	أسمنت مقاوم للكبريتات + مادة بوزولانية	SO <sub>4</sub> > 10000	عالية جداً

مادة البوزولانية يجب أن تثبت بالاختبار أنها تحسن من مقاومة الكبريتات.

جدول (2-5) الهبوط الموصى به للمنشآت المختلفة

الهبوط (سم)		المنشآت
أقصى	أدنى	
7.5	2.5	- حوائط الأساسات المسلحة والأساسات والقيسونات
7.5	2.5	- الكمرات والحوائط المسلحة
10	2.5	- الأعمدة
10	2.5	- بلاطات الرصيف والبلاطات المسلحة
5	2.5	- خرسانة كتلية



#### ١- تحديد درجة التشغيلية:

قام الباحثان بوضع الجدول رقم ( 5-8) لى يتم تحديد درجة التشغيلية المطلوبة على أساسه.  
جدول (5-8) خواص الخرسانة الطازجة للخرسانة عالية المقاومة

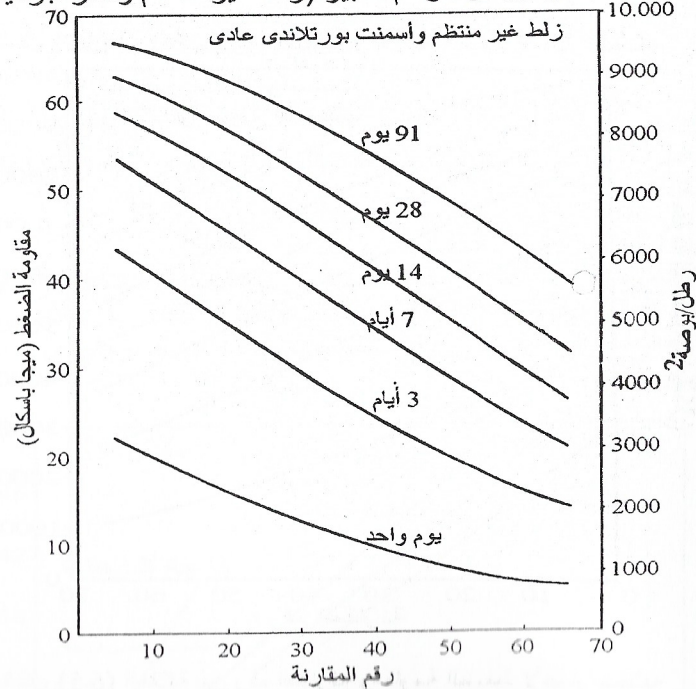
معامل الدمك	حالة المنشأ والدمك	هبوط سم	درجة التشغيلية
0.65	هزات خارجية أو ضغط خارجي	صفر	منخفضة إلى أقصى درجة
0.75	الهز والدمك الشديد	صفر - 3	منخفضة جداً
0.83	إطاعات الخرسانة المسلحة واستخدام دمك	0.60 - 0.30	منخفضة
0.90	إطاعات شديدة التسليح مع الدمك	2.5 - 0.60	متوسطة
0.95	إطاعات شديدة التسليح أو دمك يدوي	10 - 2.5	عالية

#### ٢- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

##### ١- تحديد رقم المقارنة:

يتم تحديد المقاومة الدنيا للمنشأ، ومنها يحدد المقاومة المتوسطة.

قام الباحثان بدراسة معملية للعلاقة بين نسبة الماء إلى الأسمنت ومقاومة ضغط الخرسانة. ونظراً للمدى المحدود للدراسة، فقد تم الاستعانة بمقياس مكبر أطلق عليه رقم اعتباري أو رقم مقارنه (Reference Number). وبذلك تم رسم العلاقة بين مقاومة الضغط والرقم الاعتباري، بدلاً من مقاومة الضغط ونسبة الماء إلى الأسمنت. والأشكال (4-5 حتى 7-5) توضح تلك العلاقة التي تم رسمها لأسمنت بورتلاند عادي وأسمنت سريع التصلد، وكذلك لنوعين من الركام الكبير (زلط غير منتظم وكسر جرانيت).



شكل (4-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

#### جدول (6-5) متطلبات التعرض لحالات خاصة.

حالة التعرض	W/C	المقاومة الدنيا ( $N/mm^2$ )
خرسانة ذات نفاذية قليلة عند تعرضها للماء	0.5	28
الخرسانة المعرضة للتآكل و الذوبان	0.45	31
للحمایو من صدأ صلب التسليح للخرسانة المتعرضة للمهاجمة بالكلوريدات قبل ماء البحر أو الماء المالح	0.40	35

#### جدول (7-5) حجم الركام الكبير ( $m^3$ ) لإنتاج $1m^3$ خرسانة من الخرسانة ذات القوام اللدن .

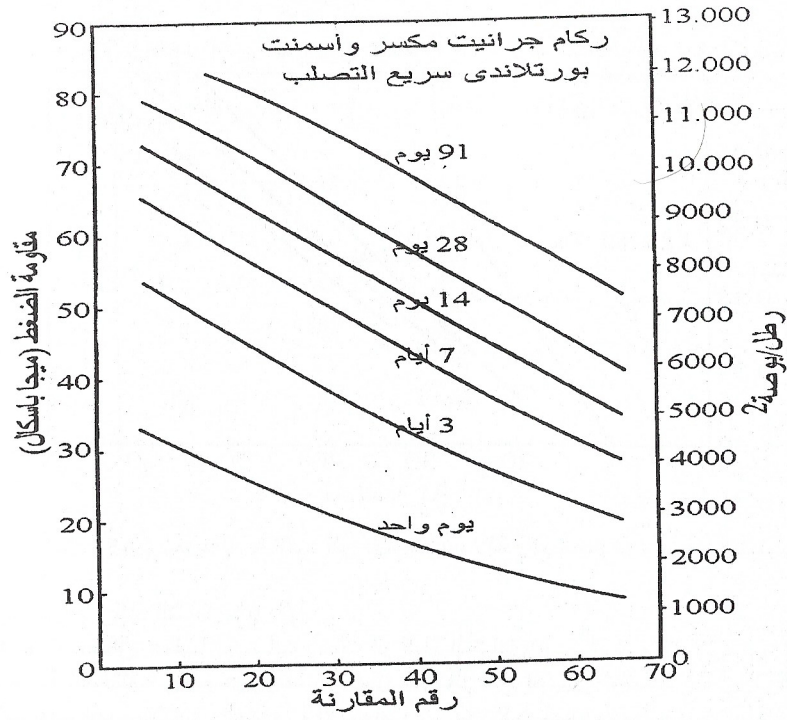
المقاس الاعتباري الأكبر مم	معايير النعومة	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.44	0.46	0.48	0.50	0.53
12.5	0.53	0.55	0.57	0.59	0.60
20	0.60	0.62	0.64	0.66	0.67
25	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72
40	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78
50	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80
75	0.76	0.78	0.80	0.82	0.83
150	0.81	0.83	0.85	0.87	

#### 4-5 تصميم الخلطات ذات المقاومة العالية ( Design of High Strength Concrete )

##### 1-4-5 مقدمة:

أصبحت الخرسانة العالية المقاومة في العقدین الآخرين تستخدم بكثرة في الكبارى سابقة الإجهاد، وكذلك في المنشآت العالية والمنشآت البحرية. وتعتبر المقامات الأعلى من 400 كجم/سم<sup>2</sup> خرسانات ذات مقاومة عالية. ولقد تم حالياً إنتاج خرسانات ذات مقاومة أعلى من 1000 كجم/سم<sup>2</sup>؛ ويطلق عليها الخرسانة فائقة المقاومة (Ultra High Strength). والخرسانة ذات المقاومة العالية هي خرسانة تحتاج إلى معالجة خاصة مثل البخار، أو تحتاج لإضافات خاصة، وهي تحتاج لأسس وضعية لتصميم خلطاتها. ويمكن الوصول لتلك المقاومة بركام جيد وبنسب مرتفعة من الأسمنت، مع تشغيلية ليست عالية. وهناك اتجاه حديث لتخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام مواد عالية التلدين (Super Plasticizers)، مع استخدام إضافات خاصة مثل Silica Fume. وسنعرض فيما يلي إحدى الطرق التقليدية لتصميم تلك الخلطات. وقامت تلك الطريقة على اختبارات ودراسات عملية ووضعية قام بها كلاً من نتروى وشكلوك. وتعتمد أساساً على استخدام ركام شامل به 30% من الرمال. وبالتالي أصبح محتوى الركام مجهول واحد وليس مجهولين ويمكن استخدام منحنيات تدرج قياسية. وقام الباحثين بربط مقاومة الضغط بنسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام رقم اعتباري معين، ثم يلي إعطاء جداول تعطى نسبة الركام الشامل إلى الأسمنت. ويمكن تفصيل ذلك فيما يلي:



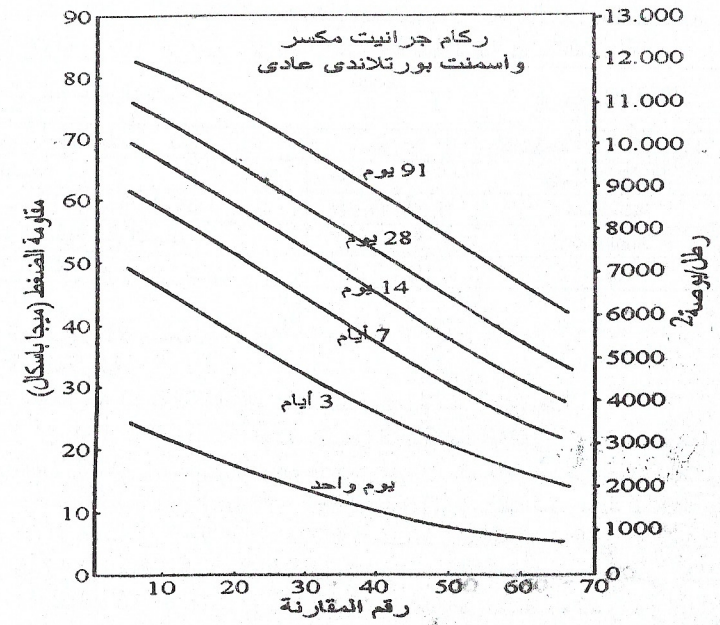
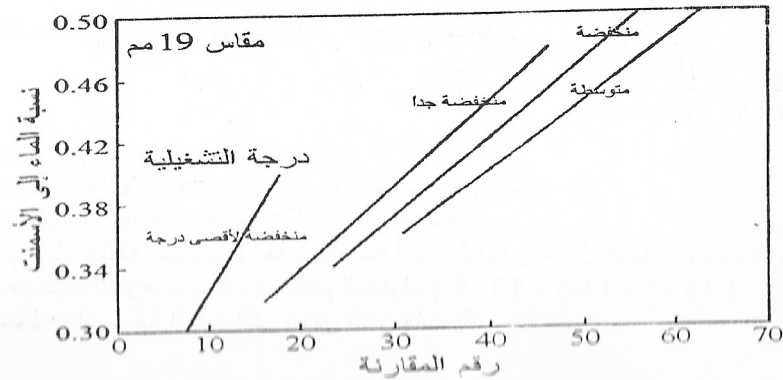


شكل (7-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

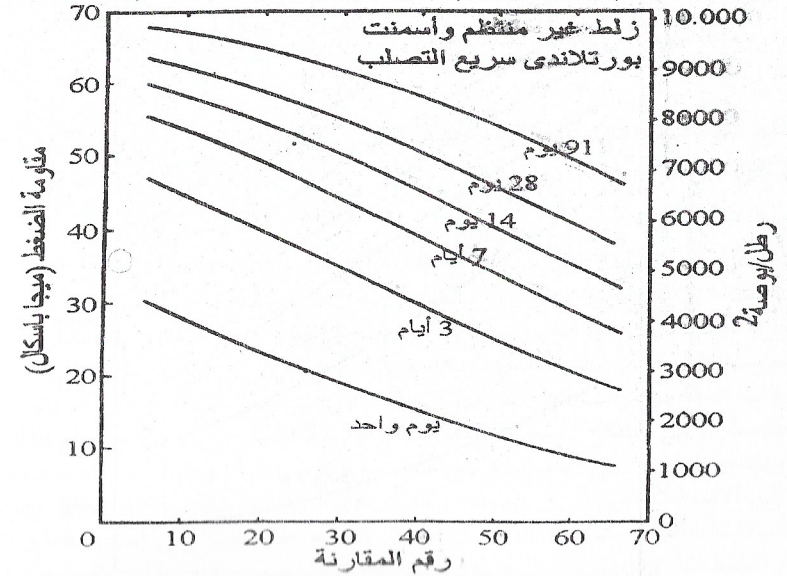
بناءً على ما سبق، يقوم المهندس بتحديد الرقم الاعتباري (رقم المقارنة) المناظر للمقاومة المطلوبة عند عمر معين.

ب- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

يتم تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام الشكلان (8-5، 9-5)، وفيهما علاقة بين الرقم الاعتباري (R.N) ونسبة الماء إلى الأسمنت لدرجات تشغيلية مختلفة بين تشغيلية منخفضة إلى أقصى درجة وتشغيلية متوسطة، وذلك لركام ذي مقاس اعتباري أكبر  $4\frac{1}{2}$ ،  $8\frac{3}{4}$  بوصة على الترتيب.



شكل (5-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة



شكل (6-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

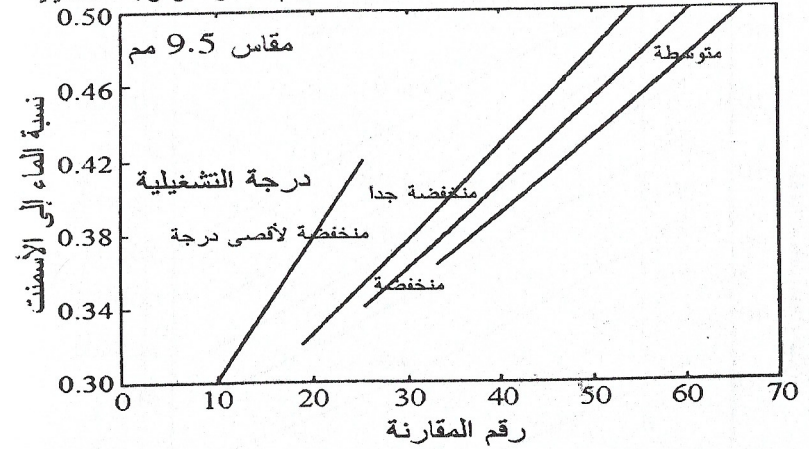


جدول (9-5) نسبة الركام الى الأسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 38.1 مم

عالية	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً	الدرجة التشغيلية
4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	
2.3 2.3 2.5 2.7	2.5 2.6 2.8 2.9	2.9 3.2 3.3 3.4	3.2 3.5 3.9 4.0	0.35
3.1 3.3 3.5 3.5	3.4 3.7 3.8 3.8	3.8 4.2 4.5 4.5	4.3 4.7 5.3 5.3	0.40
4.0 4.3 4.4 4.1	4.3 4.6 4.7 4.6	4.8 5.3 5.6 5.6	5.3 5.9 6.5 6.5	0.45
4.8 5.1 5.2 4.8	5.1 5.5 5.7 5.4	5.7 6.3 6.6 6.7	6.3 7.1 7.7 7.7	0.50
5.5 6.0 5.9 *	5.8 6.3 6.5 6.2	6.6 7.2 7.6 7.6	7.3 8.1 - -	0.55
6.2 6.7 * *	6.6 7.1 7.3 7.0	7.4 - - -	- - - -	0.60
6.9 7.3 * *	7.2 7.8 8.1 7.8	8.1 - - -	- - - -	0.65
7.4 - * *	7.9 - - -	- - - -	- - - -	0.70
8.0 - * *	- - - -	- - - -	- - - -	0.75
- - * *	- - - -	- - - -	- - - -	0.80

15 - 5 وحتى 13-5 مناطق التدرج المذكورة في الجداول من 5 - 15 .

شكل (8-5) تحديد نسبة الماء الى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية



شكل (9-5) تحديد نسبة الماء الى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية

### 3- تحديد نسبة الركام الشامل (Ag):

قام الباحثان عملياً بحساب نسبة الركام الشامل إلى الأسمنت (Ag/C)، ولدرجات التشغيلية المختلفة والنوعين المستخدمين من الركام الكبير، ولمقاس من الركام 4، 3، 2، 1، وللأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت سريع التصلب. وتم تلخيص ذلك في الجداول ارقام (9-5، 10-5، 11-5، 12-5) وعن طريق تلك الجداول نحدد نسبة W/C .  
4- حساب محتوى الأسمنت باستخدام نسبة الماء إلى الأسمنت ونسب الركام إلى الأسمنت وباقي المحتويات من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$\frac{Ag}{G_s} + \frac{C}{3.15} + \frac{W}{1} = 1$$

حيث فرض أن الهواء المحبوس = صفر.

C وزن الأسمنت.

W وزن الماء.

G<sub>s</sub> الوزن النوعي للركام الشامل.

بالقسمة على وزن الأسمنت C في المعادلة السابقة:

$$\frac{Ag}{C G_s} + \frac{1}{3.15} + \frac{W}{C} = \frac{1}{C}$$

ومنها يتم إيجاد وزن الأسمنت (C).

- بمعلومية Ag / C نوجد وزن الركام الشامل / م<sup>3</sup> خرسانة.

- بمعلومية W/C نوجد وزن الماء / م<sup>3</sup> خرسانة.

ويتم عمل خلطة تجريبية وتحديد مقاومة الضغط لها ومعامل الدمك ووحدة الوزن مع عمل التصحيحات اللازمة. ويمكن استخدام الجداول ( 5-13 ، 5-14 ، 5-15 ) للحصول على نسبة الخلط التي تحقق التدرجات القياسية.



جدول (11-5) نسبة الركام الى الأسمنت لركام مكسر مقاسة 38.1 مم

درجة التشغيلية	منخفضة جداً	منخفضة	متوسطة	عالية
رقم منطقة التدرج	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1
0.35	3.0 3.5 3.7 3.7	2.7 3.0 3.0 3.0	2.4 2.7 2.6 2.6	2.2 2.5 2.5 2.4
0.40	4.0 4.7 4.7 4.8	3.5 3.8 3.9 3.9	3.2 3.5 3.4 3.3	2.9 3.2 3.2 3.1
0.45	5.0 5.7 5.8 6.0	4.3 4.6 4.8 4.8	3.9 4.2 4.1 4.0	3.5 3.9 3.9 *
0.50	5.9 6.5 6.8 7.2	5.0 5.4 5.5 5.5	4.5 4.8 4.8 4.6	4.1 4.4 4.4 *
0.55	6.7 7.3 7.8 8.3	5.7 6.0 6.2 6.2	5.1 5.4 5.4 *	4.7 4.9 4.8 *
0.60	7.4 8.0 8.6 9.4	6.2 6.7 6.9 6.8	5.6 6.0 6.0 *	5.2 5.4 * *
0.65	8.0 - - -	6.8 7.3 7.5 7.4	6.1 6.4 * *	5.6 5.8 * *
0.70	- - - -	7.4 7.7 8.0 8.0	6.6 6.7 * *	6.1 6.2 * *
0.75	- - - -	7.9 - - -	7.0 7.2 * *	6.5 6.6 * *
0.80	- - - -	- - - -	7.4 7.5 * *	7.0 * * *
0.85	- - - -	- - - -	7.8 7.8 * *	7.4 * * *
0.90	- - - -	- - - -	8.1 * * *	7.7 * * *
0.95	- - - -	- - - -	- * * *	8.0 * * *
1.00	- - - -	- - - -	- * * *	* * * *

جدول (10-5) نسبة الركام الى الأسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 19.05 مم

درجة التشغيلية	منخفضة جداً	منخفضة	متوسطة	عالية
رقم منطقة التدرج	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1	4 3 2 1
0.35	3.2 3.5 4.5 4.5	3.1 3.2 3.6 3.8	2.7 2.8 3.0 3.1	2.5 2.6 2.8 2.8
0.40	4.5 5.3 6.3 6.6	4.1 4.5 5.1 5.3	3.7 3.9 4.2 4.2	3.3 3.5 3.7 3.6
0.45	5.8 6.7 7.7 8.0	5.1 5.9 6.6 6.9	4.5 5.0 5.3 5.3	4.1 4.5 4.8 4.6
0.50	7.0 8.0 - -	6.0 7.0 8.0 8.2	5.4 5.9 6.3 6.3	4.8 5.3 5.7 5.5
0.55	8.1 - - -	6.9 8.2 - -	6.4 7.4 7.3 7.3	5.5 6.1 6.5 6.3
0.60	- - - -	7.7 - - -	7.2 8.0 - -	6.1 6.8 7.2 *
0.65	- - - -	8.5 - - -	7.8 - - -	6.6 7.4 7.7 *
0.70	- - - -	- - - -	- - - -	7.2 7.9 - *
0.75	- - - -	- - - -	- - - -	7.6 - - *
0.80	- - - -	- - - -	- - - -	- - - *
0.85	- - - -	- - - -	- - - -	- - - *
0.90	- - - -	- - - -	- - - -	- - - *

نسبة الماء للأسمنت

جدول (5 - 12) نسبة الركام الى الأسمنت لركام مكسر مقاسة 19.05 مم



## 5-5 تصميم الخلطة الخرسانية بالطريقة البريطانية:

تستخدم هذه الطريقة على مجال واسع في المملكة المتحدة. وتعتمد هذه الطريقة على مجموعة من البيانات والمنحنيات المستنتجة من مجموعة من الأبحاث والاختبارات خلال سنوات عديدة. ويمكن تلخيص هذه الطريقة في الخطوات التالية:

1. تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت (Water cement ratio):

بمعلومية المقاومة التصميمية للخلطة يتم تعيين نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، وذلك باستخدام جدول (16-5) وشكل (10-5) كما يلي.

جدول (16-5) قيم مقاومة الضغط بالنسبة W/C مرجعية = 0.50

مقاومة الضغط (نيوتن/مم <sup>2</sup> ) العمر باليوم				نوع الركام الكبير	نوع الأسمنت
91	28	7	3		
48	40	27	18	غير مكسر	أسمنت بورتلاندى عادى
55	47	33	23	مكسر	أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات
53	46	34	25	غير مكسر	أسمنت سريع التصلد
60	53	40	30	مكسر	

- مقاومة الضغط التقريبية لخلطات تستخدم بها نسبة ماء للأسمنت 0.50
- بمعلومية نوع الركام والأسمنت والزمن المطلوب تحقيق المقاومة عنده، يتم استخدام جدول (16-5)؛ حيث يتم استخدامه لإيجاد نقطة (عند نسبة ماء إلى أسمنت = 0.5) يوقعها على المنحنى شكل (10-5)، ويتم رسم منحنى متوسط للمنحنى الأعلى والأسفل لهذه النقطة. ويستخدم هذا المنحنى لاستنتاج نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) التي تحقق المقاومة التصميمية للخلطة المطلوبة.
- بمعرفة الظروف والعوامل البيئية التي ستعرض لها الخرسانة (Durability)، يتم تحديد نسبة 2 (W/C) التي تحقق المقاومة للظروف والعوامل المختلفة، ومتطلبات التحمل (Durability) غير مذكورة هنا ويرجع للمواصفات البريطانية في هذا الشأن ونأخذ القيمة الأقل من 2 (W/C)، 1 (W/C) وتسمى (W/C).

درجة التشغيلية رقم منطقة التدرج	منخفضة جداً				منخفضة				متوسطة			
	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
0.35	2.7	2.9	3.0	3.2	2.4	2.5	2.7	2.7	2.2	2.3	2.4	2.4
0.40	3.5	3.7	4.2	4.5	3.0	3.2	3.5	3.5	2.7	2.9	3.1	3.1
0.45	4.3	4.6	5.0	5.5	3.7	3.9	4.2	4.3	3.3	3.4	3.7	3.7
0.50	5.0	5.4	5.8	6.5	4.3	4.5	4.9	5.0	3.8	3.9	4.2	4.2
0.55	5.6	6.0	6.6	7.2	4.8	5.0	5.4	5.7	4.3	4.5	4.7	4.7
0.60	6.3	6.6	7.2	7.8	5.3	5.6	6.0	6.3	4.8	4.9	5.2	*
0.65	6.9	7.2	7.8	8.3	5.8	6.1	6.5	6.9	5.2	5.4	5.7	*
0.70	7.5	7.7	8.3	8.7	6.3	6.5	7.0	7.4	5.7	5.8	6.2	*
0.75	8.0	8.2	-	-	6.8	7.0	7.5	7.9	6.1	6.2	*	*
0.80	-	-	-	-	7.2	7.4	-	-	6.5	6.6	*	*
0.85	-	-	-	-	7.6	7.8	-	-	6.9	7.1	*	*
0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	7.5	*	*
0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	8.0	*	*
1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

نسبة الماء للأسمنت

جدول (5-13) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 38.1 مم (هيئة الطرق الأمريكية مذكوره رقم 4) لأربعة مناطق تدرج

مقاس المنخل	1.5	4/3	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	50	35	23	19	12	8	2	1
2	100	60	43	33	25	17	12	7	1
3	100	68	52	40	32	24	17	10	1
4	100	75	60	46	37	30	25	15	1

جدول (5-14) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 19 مم (هيئة الطرق الأمريكية - مذكوره رقم 4)

مقاس المنخل	4/3	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	35	29	21	15	8	1	1
2	100	55	33	28	20	14	2	1
3	100	64	41	35	28	21	5	1
4	100	75	48	41	34	28	11	1

جدول (5-15) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 9.52 مم (هيئة الطرق الأمريكية - مذكوره رقم 4)

مقاس المنخل	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	30	20	17	13	5	1
2	100	45	33	27	19	8	1
3	100	60	46	37	28	14	1
4	100	75	60	46	34	20	1

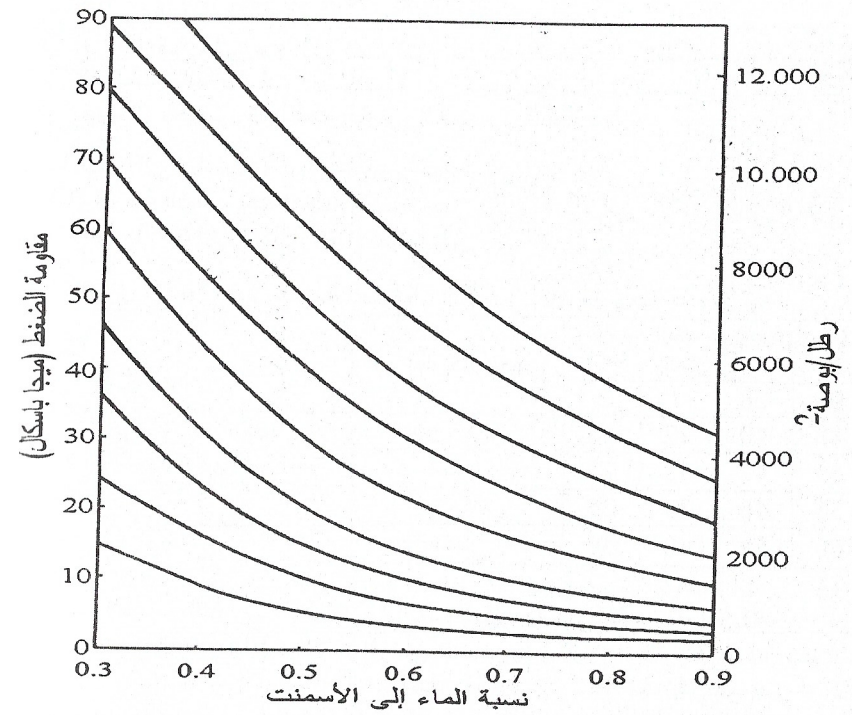
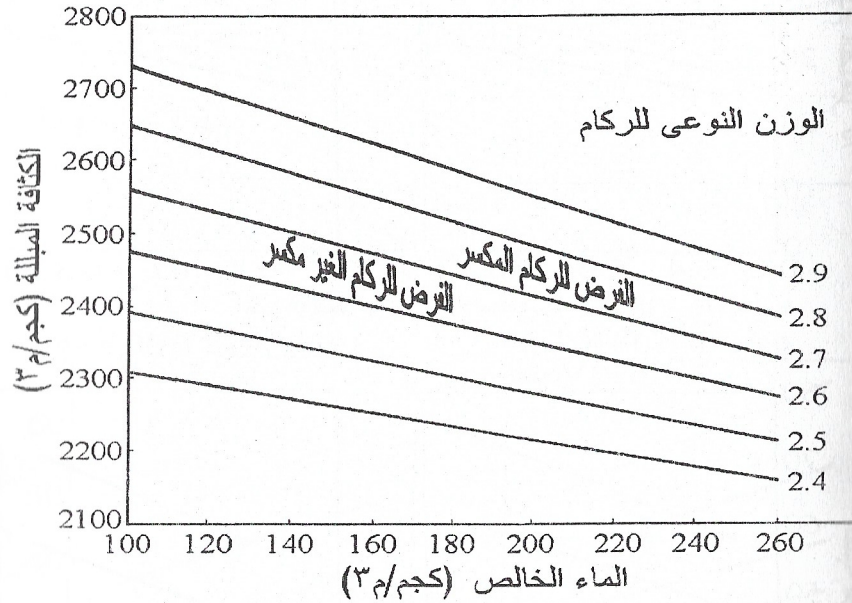


1. تحديد محتوى الأسمنت بدلالة محتوى الماء ونسبة الماء إلى الأسمنت :

$$\text{Cement content} = \frac{\text{Free Water Content}}{(W/C)}$$

2. تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة (  $\gamma$  ) :

بمعلومية الوزن النوعي للركام ومحتوى الماء وكذلك نوعية الركام المستخدم يتم تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة، وذلك باستخدام شكل (11-5).



شكل (10-5) العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء الخالص إلى الأسمنت المستخدم في الطريقة البريطانية للتصميم

2- تحديد محتوى ماء الخلط :  
بمعلومية درجة قابلية التشغيل المطلوبة ونوعية الركام والمقاس الاعتباري الأكبر، يتم تحديد كمية ماء الخلط الذي يحقق قابلية التشغيل المطلوبة، وذلك باستخدام جدول (17-5).

جدول (17-5) محتوى الماء المناسب لتشغيله مختلفه .

الهيوط مم زمن Vebe (بالثانية)	نوع الركام	صفر - 10 أكبر من 12	30 - 60 أكبر من 12	60 - 180 أكبر من 6	180 - 600 أكبر من 3
المقاس الاعتباري الأكبر للركام مم	غير مكسر	150	180	205	225
10	مكسر	180	205	230	250
20	غير مكسر	135	160	180	195
	مكسر	170	190	210	225
40	غير مكسر	115	140	160	175
	مكسر	155	175	190	205

شكل (11-5) تحديد كثافة الخرسانة كدالة من محتوى الماء والوزن النوعي للركام

3. تحديد المحتوى الكلي للركام:

من المعلومات السابقة (وزن الماء والأسمنت ووزن المتر المكعب من الخرسانة) يمكن حساب محتوى الركام (A).

$$A = \gamma - C - W$$

حيث  $\gamma$  وزن المتر المكعب من الخرسانة (كجم/م³).

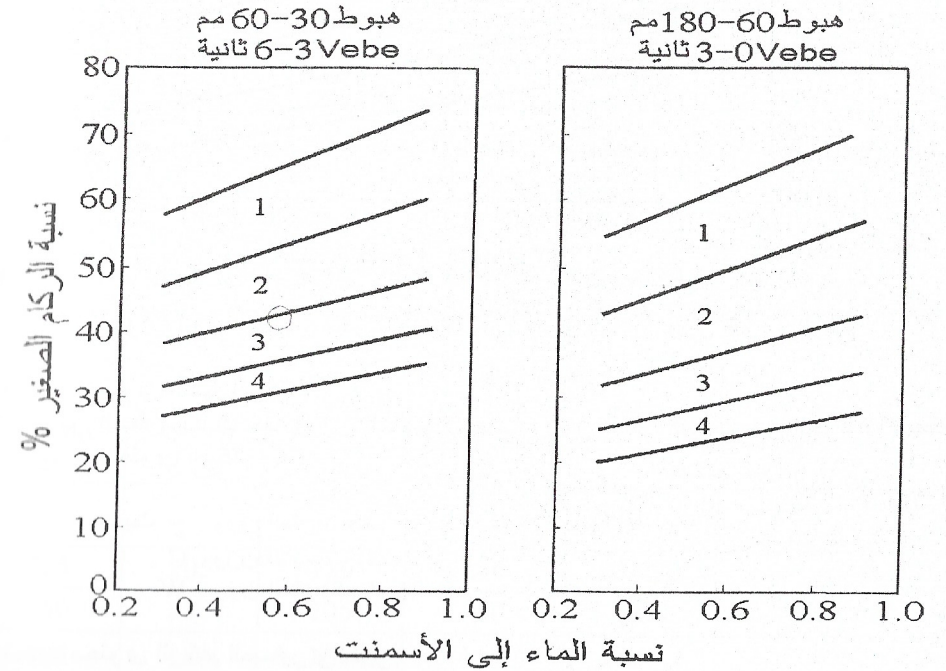
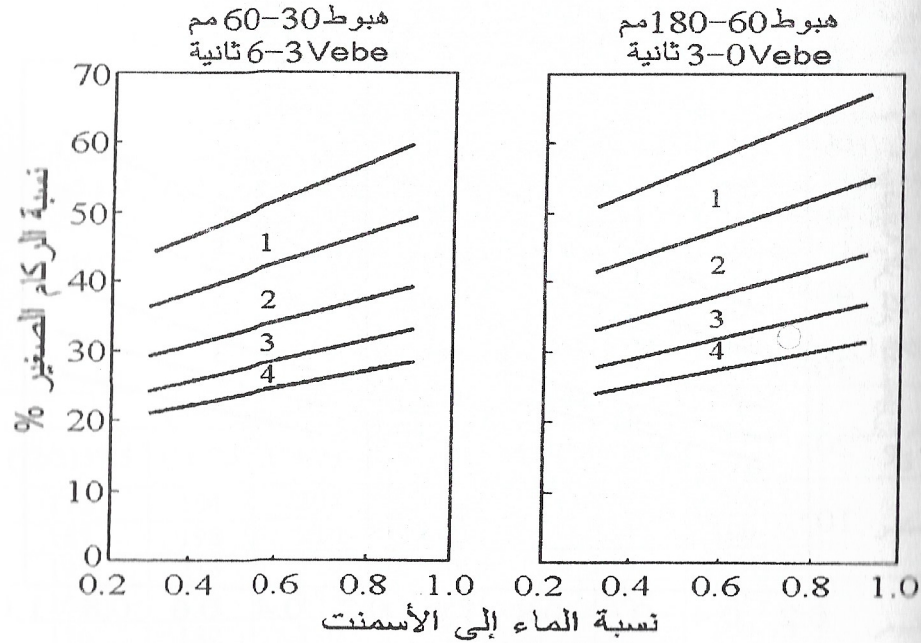
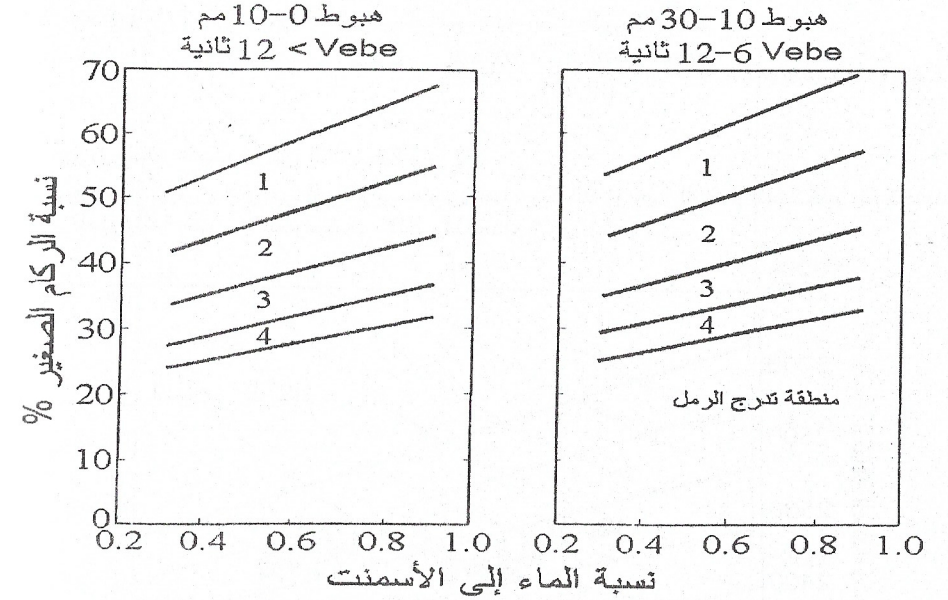
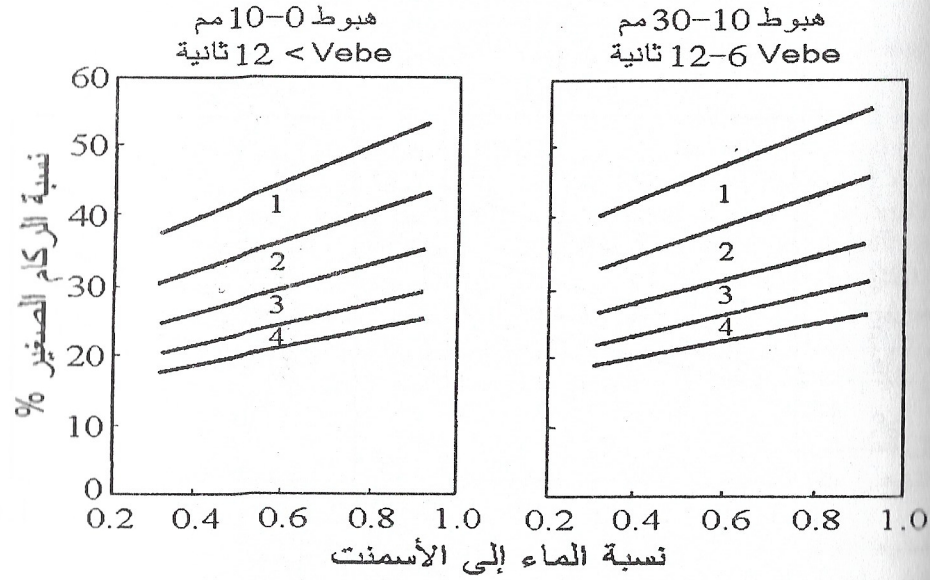
C وزن الأسمنت (كجم/م³).

W وزن الماء (كجم/م³).

4. تحديد محتوى الركام الصغير والكبير:

بمعلومية كل من المقاس الاعتباري الأكبر والتشغيلية ونسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) ومنطقة تدرج الرمل طبقاً للمواصفات البريطانية (من 1 وحتى 4) ، ومنطقة تدرج الرمل طبقاً للمواصفات البريطانية (1 إلى 4) يمكن حساب نسبة الركام الصغير، وذلك باستخدام شكل (12-5).





(ب) مقاس ركام-20 مم

(أ) مقاس ركام-10 مم

شكل (5-12) مستمر ( تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيلية

شكل (5-12) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيلية



## 6-6 اتجاه طريقة تصميم خلطة مصرفية (موضوعة بالمؤلف) .

### 6-6-1 مقدمة :

يحتوى كود الخرسانة المصرى على بعض اشتراطات لخواص مواد الخرسانة وكذلك على حدود التحمل durability لكل من مهاجمة الخرسانة للكبريتات وللظروف المحيطة بها لا توجد طريقه مصرفيه لتصميم الخلطة. والكاتب هنا بناء على بعض التجارب التى قام بها وبناء على النتائج المأخوذه من عدة مراجع وطريقة ACI والطريقة البريطانية يقترح طريقة لتصميم الخلطة الخرسانية ربما يعتمدها كود الخرسانة المصرى وهذه الطريقة تتميز عن الطرق الأخرى بأنها تغطى مقاومة ضغط للمكعب حتى مقاومة 730 كجم/سم<sup>2</sup> وتفرق بين الركام المكسر والركام الطبيعى فى مقاومة الضغط وتأخذ تأثير الإضافات فى الاعتبار كما ان مقاومة الركام تلعب دوراً هاماً فى الطريقه المقدمه .

### 6-6-2 خطوات التصميم :

يمكن تلخيص هذه الطريقه فى الخطوات التالية :

#### 1. الخطوات الأولى :

1- اختيار واختبار المواد الملائمة للمشروع والتى تحقق اشتراطات الكود المصرى ويحدد معيار نعومة الرمل والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير والوزن النوعى لكل من الرمل والركام الكبير على أساس أن الحبيبات مشبعة من الداخل جافة السطح .

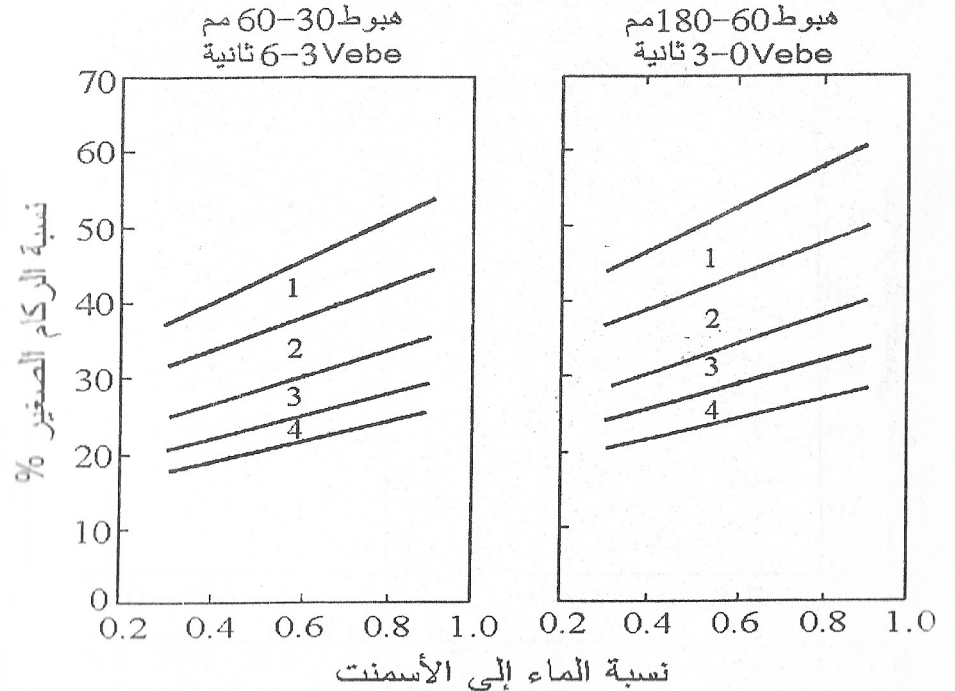
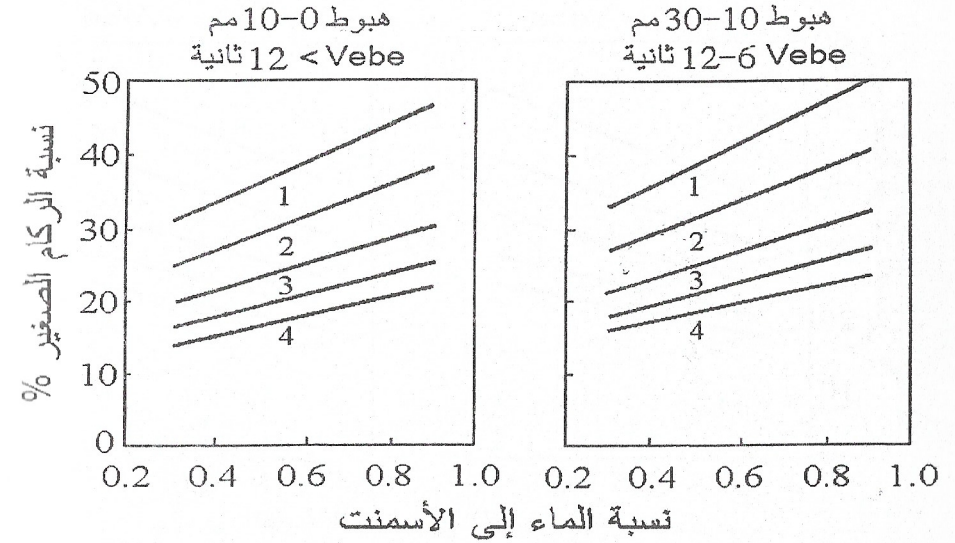
#### 2. تحديد محتوى الماء :

2-1 جدول (5-18) يتم تحديد محتوى الماء (wo) الذى يحقق هبوط معلوم للخرسانة المازجه كدالة من المقاس الاعتبارى الأكبر للركام وهل الركام طبيعى (زلط) أم ناتج عمليات (مثل كسر الأحجار) وتم تحديد هذه القيم من العديد من الدراسات السابقة بالخامات الجاهزة ورسائل الماجستير والدكتوراه المجراه فى مصر بالإضافة الى تجارب قام بها المؤلف .

2-2 جدول (5-18) محتوى الماء (W<sub>o</sub>\*) كجم/م<sup>3</sup> و محتوى الهواء % .

نوع الركام الكبير	قيمة الهبوط (مم)	المقاس الاعتبارى الأكبر مم (بوصة)				
		9.5 (3/8")	12.5 (1/2")	19 (3/4")	25 (1")	37.5 (3/2")
ركام مكسر	50-25	217	210	204	184	175
	100-75	234	222	210	198	187
	175-150	250	235	224	213	195
ركام طبيعى	50-25	198	185	185	174	164
	100-75	215	203	190	182	170
	175-150	230	217	203	195	177
محتوى الهواء	-	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0

1- يحتوى الماء يجب أن يزيد بضره فى معامل 1.05 إذا استخدم غبار السليكا بنسبة 8-15% من وزن الأسمنت .



### (ج) مقاس ركام -40 مم

كل (5-12 مستمر) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيليه



جدول رقم (5-20) متطلبات الخرسانة المعرضة للمهاجمة الكبريتية لتحقيق كثافة عالية ودمك كامل للخرسانة (مأخوذ من الكود المصري للخرسانة حتى 2013 م) . \*

الحد الأدنى للمقاومة المميزة للخرسانة $f_{cm}$	الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كجم/م <sup>3</sup>			نوع الأسمنت	تركيز الكبريتات في صورة ثالث أكسيد الكبريت		
		المقاس الاعتيادي الأكبر للركام مم*				في التربة		في الماء الأرضي
						SO <sub>3</sub> في مزيغ من الماء والتربة بنسبة 1:2 جم/لتر	SO <sub>3</sub> %	
-	0.52	400	400	350	بورتلاندى CEMI	أقل من 300	أقل من 1	0.2
25	0.50	400	400	350	بورتلاندى CEMI أو متوسط الحرارة	300 إلى 700	1.00 إلى 1.50	-0.2 إلى 0.35
30	0.45	400	400	350	مقاوم للكبريتات أو متوسط الحرارة	700 إلى 1200	1.50 إلى 1.90	-0.35 إلى 0.50
35	0.43	450	450	400	مقاوم للكبريتات	1200 إلى 2500	1.9 إلى 3.1	-0.50 إلى 1
40	0.40	450	450	400	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	2500 إلى 5000	3.1 إلى 5.6	-1.00 إلى 2.00

في حالة ما يكون المقاس الإعتباري الأكبر بين قيمتين مذكورتين في الجدول تؤخذ النتائج المبداية للمقاس الإعتباري الأقل .

ويجب اعتبار الظروف المحيطة الأخرى ويمثلها جدول (5-21) الموصى به بالكود المصري ونستخرج منه نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C1) ومقاومة الضغط الدنيا ، محتوى الأسمنت الأدنى Cmin وفي حالة مهاجمة الخرسانة بماء البحر أو مهاجمة الكبريتات والكلوريدات يستخدم أسمنت عالي الخبث أو أسمنت بورتلاندى عادى أو أسمنت بورتلاندى معدل (Type II ASTM) بشرط أن تكون محتوى C3A كما يلي :

$$5 \leq C3A \leq 8 \%$$

وفي الحالات الأخرى التي لاتهاجم بالأملاح يستخدم الأسمنت البورتلاندى العادى .

3 - تأثير الإضافات :  
في حالة وجود اضافات في الخلطة الخرسانية سواء أكانت مواد ملدنة أو مواد عالية التلدين من جدول (5-19) يتم حساب معامل التلدين ( $\rho_F$ ) للإضافة وهو عبارة عن محتوى الماء المكافئ لفعل 1 لتر من الإضافة في التأثير على الهبوط (فكرة هذا المعامل مقترح بواسطة المؤلف وأ.د/ حافظ اليمنى وأ.د/ ابراهيم الدرويش وأ.د/ مصطفى شحاتة ) وقيم هذا المعامل الموضحه بالجدول مأخوذه من العديد من الدراسات المختلفة التي قام بها المؤلف وعديد من الباحثين المصريين في الجامعات المختلفة . يتم حساب التخفيض في محتوى الماء  $\Delta W$  نتيجة استخدام الاضافات بجرعه وزنها D .

$$\Delta W = \rho_F \cdot D^*$$

إذا محتوى الماء المستخدم (W)

$$W = w_o - \rho_F \cdot D^*$$

حيث D\* محتوى الإضافة باللتر .

جدول ( 5-19) قيم معامل التلدين ( $\rho_F$ )

جرعة الملدنات أو الملدنات العالية من وزن الأسمنت % (D)	$\leq 0.7$	0.8 إلى 1.5	1.7 إلى 2.9
معامل التلدين	8.7	8.0	6.8

4 - اعتبار شروط التحمل Durability

يقوم المهندس بتحديد حالة المهاجمات الكيميائية أو الظروف المحيطة بالمنشأ والتي تنقسم الى مهاجمة الكبريتات في حالة تعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتات وفي تلك الحالة يستخدم الجدول رقم (5-20) ، الذي يوصى به الكود المصري للخرسانة وبناء على محتوى الكبريتات (معبراً عنه بـ SO<sub>3</sub>) والمقاس الاعتباري الأكبر نحدد أقصى نسبة ماء إلى أسمنت (W/C1) ومحتوى الأسمنت الأدنى Cmin ونوع الأسمنت والمقاومة المميزة الدنيا (fcu min) .



جدول رقم (5-21) قيم الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت و الحد الأدنى للمقاومة المميزة و الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطات الخرسانية لتأمين تحمل العناصر الإنشائية المعرضة لظروف ضارة مع الزمن (مأخوذ من الكود المصري حتى 2013 م)

الظروف التي يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كجم/م <sup>3</sup> *			الحد الأقصى لنسبة الماء : الأسمنت *	الحد الأدنى للمقاومة المميزة للخرسانة ن/مم <sup>2</sup>
	المقاس الاعتباري الأكبر للركام مم***				
	10	20	32		
الخرسانة محمية تماماً من الظروف الجوية والظروف المحيطة الضارة	350	350	350	0.60	25
الخرسانة غير معرضة أو معرضة للظروف المحيطة الضارة، ولكنها مدفونة دائماً تحت الماء أو معرضة للرطوبة	350	350	400	0.50	30
الخرسانة معرضة لظروف محيطية ضارة أو لماء البحر أو لدورات من البلل أو الجفاف أو الغازات الخ ****	350	400	450	0.40	40

\* إذا كان المقاس الإعتباري الأكبر يقع بين قيمتين مذكورتين في الجدول يؤخذ محتوى الاسمنت المناظر للمقاس الإعتباري الأقل.

##### 5 - اعتبار مقاومة الضغط :

يتم تحديد مقاومة الضغط المميزه للمكعب القياسي ( $f_{cu}$ ) بحيث تكون الأكبر من مقاومة التصميم المطلوبة للمبنى أو المقاومة الدنيا التي أشرنا إليها المحددة من ظروف التحميل من الخطوة السابقة . يتم تحديد هامش أمان تصميم الخلطة ثم نحدد مقاومة تصميم الخلطة بإضافة المقاومة المميزه لهامش الأمان .  
- يتم تحديد مقاومة ضغط تصميم الخلطة  $f_m$

$$f_m = f_{cu} + M$$

ويحسب هامش الأمان M من المعلومات السابقة إن وجدت كما سيذكر في بند ضبط الجودة رقم (5-7) .

- يستخدم جدول (5-22) في حالة مقاومة ضغط حتى 40 ن/مم<sup>2</sup> لكلاً من الركام المكسر والغير مكسر والجدول (5-23) في حالة خرسانه ذات مقاومة عالية لتحديد نسبة الماء إلى الأسمنت التي تناظر مقاومة تصميم الخلطة . ويتم تحديد نسبة الماء للأسمنت التي تحقق  $f_m$  ولتكن (W/C)2 .

جدول (5-22) مقاومة الضغط ( $20 \leq f_{cu} \leq 40$  N/mm<sup>2</sup>) و نسبة المياه للأسمنت الركام غير مكسر

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.49	0.45	0.42	0.39

ركام مكسر

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.78	0.70	0.65	0.62	0.58	0.54	0.52	0.49	0.47

جدول (5-23) مقاومة الضغط - نسبة المياه للأسمنت (الخرسانة عالية المقاومة) الركام غير مكسر (زلط) ( $40 < f_{cu} \leq 50$  N/mm<sup>2</sup>)

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	41	42	43	44	45
نسبة w/c	0.382	0.371	0.360	0.349	0.339
$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	46	47	48	49	50
نسبة w/c	0.330	0.320	0.310	0.301	0.292

ركام مكسر ( $40 < f_{cu} \leq 73$  N/mm<sup>2</sup>)

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	42.5	45	47.5	50	52.5	55
نسبة w/c	0.450	0.436	0.420	0.400	0.380	0.363
$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	57.5	60	62.5	65	67.5	73
نسبة w/c	0.350	0.342	0.326	0.310	0.296	0.270

أ - يستخدم نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) الأقل من (W/C)1 و (W/C)2 .  
ب - معلومية نسبة الماء إلى الأسمنت ومحتوى الماء يتم حساب محتوى الأسمنت والذي يجب أن يزيد عن محتوى الأسمنت الأدنى  $c_{min}$  .

ج - تحديد نوع وخواص الركام الكبير .  
د - الدراسات السابقة اتضح أنه في حالة استخدام زلط طبيعي من الصعب الحصول على مقاومة ضغط أكبر من 50 ن/مم<sup>2</sup> نظراً لضعف مقاومة الترابط بين الزلط والمونة الأسمنتية يفضل ان يكون خواص الركام مناسبه للمقاومة المطلوبة كما هو موضح بجدول (5-24) .  
هـ - في حالة استخدام كسر الأحجار يمكن الحصول على مقاومة ضغط عالية حتى (73 ن/مم<sup>2</sup>) نظراً لتحسن مقاومة الترابط ويفضل توريد كسر أحجار صلابتها تحقق الصلادة الموضحة في جدول (5-24) . وفي حالة مقاومة الضغط الأكبر من 73 ن/مم<sup>2</sup> توجد الخواص أخرى لا تدخل في نطاق هذه الطريقة .



جدول (5-24) نوع الركام الكبير و خواصه طبقاً لقيمة المقاومة

1- ركام غير مكسر (زلط)

مستوى مقاومة الضغط		40 ≥ f <sub>cu</sub> ≥ 20		50 ≥ f <sub>cu</sub> ≥ 40	
مقاومة ضغط المكعب		40 = f <sub>cu</sub>	20 = f <sub>cu</sub>	50 = f <sub>cu</sub>	40 = f <sub>cu</sub>
زلط	يستخدم أم لا	يستخدم	يستخدم	يغسل عند استخدامه	
	معامل التهشيم	25 ≥	20 ≥	20 ≥	13 ≥

2- ركام مكسر

مستوى مقاومة الضغط		40 ≥ f <sub>cu</sub> ≥ 20		* 73 ≥ f <sub>cu</sub> ≥ 40	
مقاومة ضغط المكعب		40 = f <sub>cu</sub>	20 = f <sub>cu</sub>	73 = f <sub>cu</sub>	40 = f <sub>cu</sub>
كسر أحجار	يستخدم أم لا	يستخدم	يستخدم	يستخدم	
	معامل التهشيم %	25 ≥	20 ≥	20 ≥	11 ≥
كسر أحجار	لوس أنجلس %	30 ≥	25 ≥	25 ≥	14 ≥

\* للخرسانة ذات مقاومة ضغط أعلى من 60 ن/مم<sup>2</sup> لا يزيد المقاس الإعتباري الأكبر عن 4/3 بوصة .

9 - تحديد نسبة الرمل الى الركام .

جدول رقم (5-25) يحدد نسبة الرمل الى الركام الشامل (S/A) كداله من معايير نعومة الرمل ومستوى هبوط الخرسانة الطازجه (هبوط أقل من 100 مم أو هبوط أكبر من 150 مم) والمقاس الإعتباري الأكبر للركام .

جدول (5-25) نسبة الرمل للركام الشامل (S/A)

* الهبوط		100 ≥ مم			150 ≤ مم		
نسبة w/c		0.4 ≥	0.45 ≥ w/c	0.65 <	0.4 ≥	0.45 ≥ w/c	0.65 <
معايير النعومة	2.8 ≤	معايير القياس	10	0.39	0.45	0.41	0.47
			20	0.37	0.40	0.39	0.45
			40	0.36	0.37	0.36	0.43
			10	0.38	0.40	0.40	0.43
معايير النعومة	2.6 ≤	معايير القياس	20	0.37	0.39	0.39	0.43
			40	0.33	0.37	0.36	0.42
			10	0.37	0.39	0.36	0.43
			20	0.33	0.35	0.36	0.42
معايير النعومة	2.3 ≤	معايير القياس	40	0.33	0.34	0.36	0.42

\* أي هبوط قيمته أقل من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 100 مم و كل ما هو أعلى من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 150 مم

10 - التطبيق فى معادلة الحجم المطلق وحساب محتوى الركام (A) .

$$\frac{C}{1.15} + \frac{W}{1} + \frac{D}{G_{admixture}} + \frac{(S/A)A}{G_{ss}} + \frac{A(1-S/A)}{G_{sg}} = 1 - Air$$

- من هذه المعادلة نحسب قيم محتوى الركام (A) .

- نحدد محتوى الرمل بضرب نسبة S/A × محتوى الركام .

- نحدد الكثافة النظرية γ<sub>th</sub>

$$\gamma_{th} = C + W + A + D$$

- يتم تنفيذ خلطة خرسانية للتحقق من مقاومة الخلطة الخرسانية f<sub>m</sub> وهبوط الخرسانة والكثافة العملية .

## 7-5 ضبط جودة الخرسانة Quality Control of Concrete

### 1-7-5 مقدمة :

الخرسانة ماده غير متجانسه تقريباً حيث تتكون من عدة مواد هي الأسمنت والرمل والركام الكبير والماء والإضافات ومما هو جدير بالذكر أن أى تغيير فى خواص تلك المكونات أو محتواها فى الخلطة الخرسانية أو فى كيفية صناعتها سيؤدى ذلك الى اختلاف فى خواص الخرسانة .

وجداول رقم (5-26) يوضح نتائج مقاومة الضغط فى أحد المواقع ويتضح منه تغير مقاومة الخرسانة وستتناول فى هذا الجزء أسباب إختلاف مقاومة ضغط الخرسانة خلال فترة تنفيذ المنشأ وكيفية الحكم على جودة الخرسانة . وسوف يتم ان شاء الله ذكر هذا الموضوع الهام بالتفصيل فى كتاب ضبط الجودة الذى سيتم نشره ان شاء الله قريباً .

جدول رقم (5-26) مقاومة الضغط (ن/مم<sup>2</sup>) لمجموعة من المكعبات القياسية لأحد المواقع

20	22	20	19	18	20	25	22	19	21
21	24	15	20	19	18	24	20	17	22
20	24	15	22	20	17	20	23	20	26
22	21	18	22	20	22	20	23	16	18
23	27	16	22	17	18	22	18	19	23
20	17	17	20	19	19	25	19	18	16
20	20	19	19	24	21	17	22	17	18
21	18	20	20	24	20	21	19	22	28
22	18	20	18	24	18	20	23	17	18
20	23	17	25	23	18	16	20	18	19

### 2-7-5 أسباب تغير مقاومة ضغط الخرسانة فى المشروع الواحد :

بأشأ التغير فى الخرسانة من عدة عوامل نوجزها فى مايلى :

1 - تغير خواص الركام حيث أن الركام يتم توريده من محجر واحد ولكن يلاحظ حدوث تغير ولو طفيف فى خواص الركام ويؤدى ذلك الى اختلاف خواص الخرسانة ويزيد هذا الإختلاف لو تم التوريد من عدة محاجر وإذا أردنا التحكم فى خواص الركام الكبير مثلاً فيمكن توريده على هيئة عدة مقاسات (إثنين أو ثلاثة) الى الموقع بحيث يتم خلطهم بنسب وزنية معينة فيقل الإختلاف .

2- تغير خواص الأسمنت :

حيث تتغير خواص الأسمنت بزيادة فترة التخزين ولذلك يجب إعادة إختباره اذا زادت فترة التخزين عن شهر وكذلك إختلاف وزن كيس الأسمنت عن 50 كجم .

3- إختلاف نسبة الماء الى الأسمنت :



حيث تتغير رطوبة الركام من وقت لآخر وخاصة بهطول الأمطار أو حدوث تسرب للمياه في الموقع. بتغير محتوى الماء تتغير نسبة الماء الى الأسمنت ويمكن التحكم في ذلك عن طريق تحديد محتوى الماء في الركام وعمل التصحيحات اللازمة .

4- تغيير مجموعة المهندسين والعاملين :  
إذا حدث تغيير في المهندسين المنفذين أو العمالة الفنية يحدث اختلاف في صناعة الخرسانة

5- التغيير الحادث في صناعة الخرسانة من حيث التحكم في التشغيلية والدمك

6- استخدام قوالب غير قياسية .

7- استخدام ماكينات غير معاييره .

8- اجراء الإختبار بطريقة غير قياسية .

3-7-5 الحكم على جودة الخرسانة من جهة مقاومة ضغطها .

- يقوم المهندس بإختبار عينات قياسية على مدار عمر المشروع . ثم يقوم بتجميع هذه المعلومات وعن طريق استخدام الأساليب الإحصائية يتم الحكم على جودة الخرسانة باستخدام عدة طرق منها .

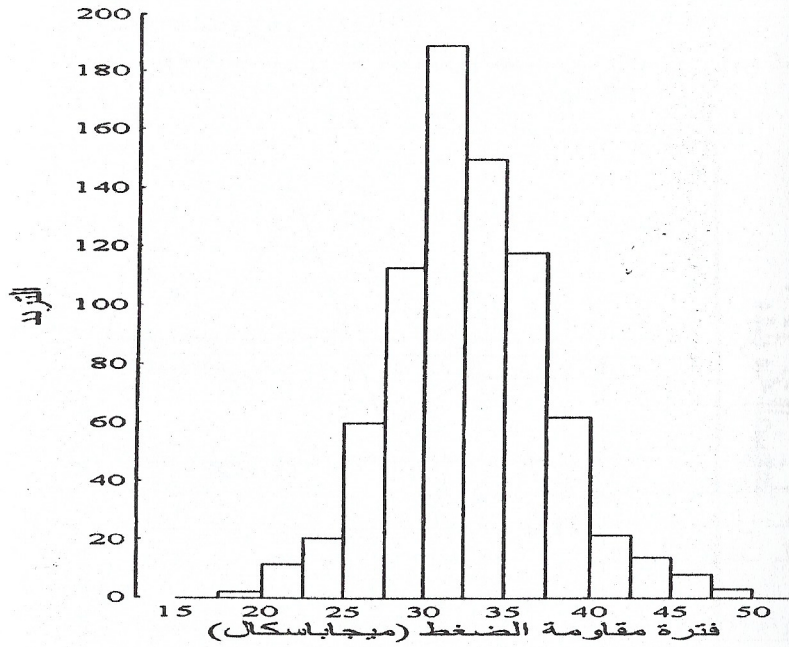
أ - المدرج التكرارى لمقاومة الخرسانة . Histogram

- يتم تجميع مقومات ضغط الخرسانة وتقسيمها الى خلايا تبدأ من أدنى مقاومة ضغط وحتى أعلى مقاومة ضغط وكل خلية تمثل مدى من مقاومة الضغط ( بفروق في المقاومة قدرها 5 أو 10 أو 15 أو 20 كجم/سم<sup>2</sup> )

- حصر عدد العينات التى تكون مقاومتها داخل كل خلية ولتكن (Ni) .

- يتم تحديد احتمال حدوث مقاومة ضغط تلك الخلية بقسمة العدد Ni على عدد العينات الكلى .

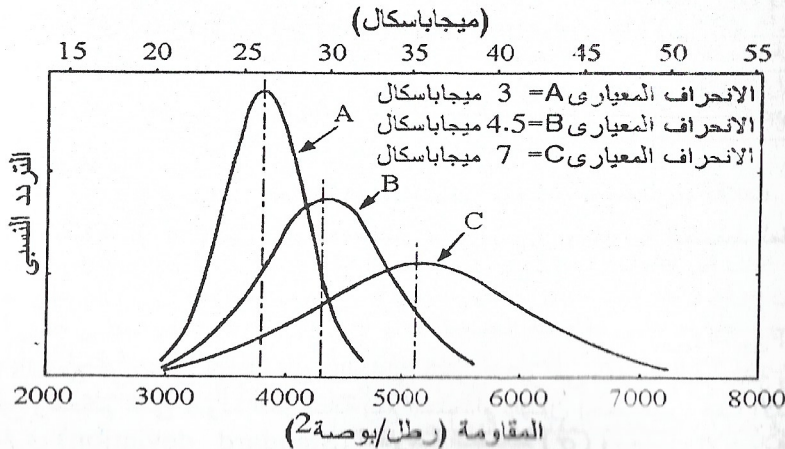
- يتم رسم منحنى المدرج التكرارى للمقومات (Histogram) كما بشكل (13-5) .



شكل (13-5) منحنى المدرج التكرارى

ب - المضلع التكرارى .

إذا تناقص مدى الخلية الواحده لأقل قيمة ممكنه يمكن رسم المضلع التكرارى كما هو مبين بشكل (14-5) والذي يوضح العلاقة بين مقاومة الضغط واحتمالها (تكرار الحدوث للمقاومة بالنسبة لمجموع العينات).



شكل (14-5) المضلع التكرارى للمقاومة



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cui} - f_{cuav})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$$

$$V = \left( \frac{\sigma}{f_{cuav}} \right) \times 100$$

جدول رقم (27-5) يحتوى على مستويات ضبط الجودة التى يستخدمها معهد الخرسانة الأمريكى (ACI 214 - 2006) للحكم على جودة مقاومة الخرسانة فى الموقع أو فى الخلطات المعملية .

جدول رقم (28-5) يحتوى على مستويات ضبط الجودة لخرسانة المنشآت التى يستخدمها الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية كدالة من قيم معامل الاختلاف وهناك اتجاه حديث فى ACI للحكم على الجودة للخرسانات عالية المقاومة لإستخدام معامل الاختلاف .

جدول رقم (27-5) استخدام قيم الانحراف المعيارى للحكم على جودة الخرسانة .

نوع الخلطات	الانحراف المعيارى $\delta$ Kg/cm <sup>2</sup>			
	ممتاز	جيد جداً	جيد	مقبول
خلطات المنشآت الخرسانية	28.1	-28.1 35.2	-35.2 42.2	49.2-42.2
خلطات معملية	14.1	17.6-14.1	21.1-17.6	24.6-21.1

جدول رقم (28-5) استخدام قيم معامل الاختلاف للحكم على جودة الخرسانة .

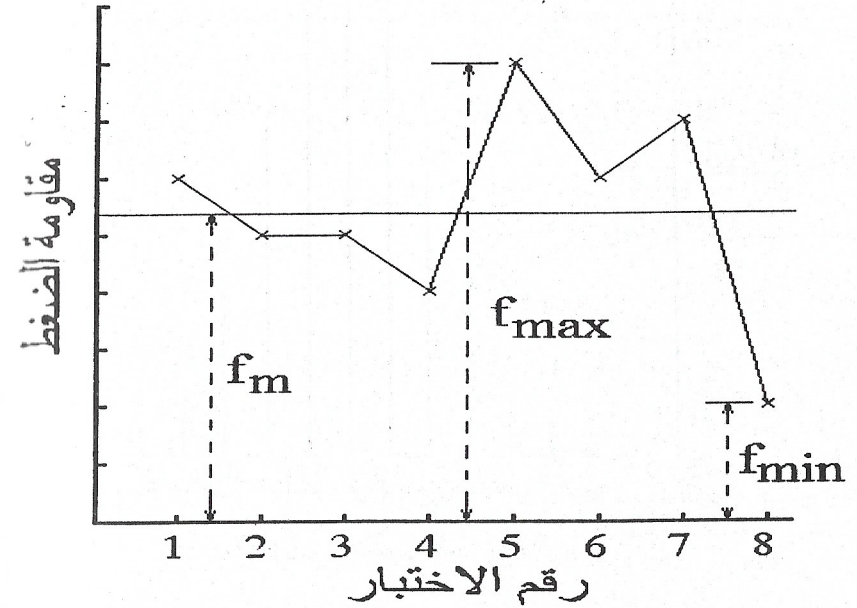
درجة التحكم	ممتاز	جيد	مقبول	ردنية
معامل الاختلاف % V	أقل من 10	15 - 10	20 - 15	أكبر من 20

4-7-8 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة ( $f_m$ ) والمقاومة المميزة ( $f_{cu}$ ) .

كما هو مبين فى جدول (26-5) وشكل (15-5) يتضح مدى اختلاف المقاومات للعينات المأخوذة من موقع واحد فهل سيتم تصميم المبنى على أقصى مقاومة ( $f_{max}$ ) أم على مقاومة الضغط المتوسطة أم على مقاومة الضغط الدنيا ( $f_{min}$ ) . إن تصميم المبنى على أعلى مقاومة يعنى أن جميع مقاومات المبنى المنفذة ستكون أقل من تلك المقاومة كما أن تصميم المبنى على المقاومة المتوسطة فيعنى ذلك أن 50% من مقاومة المبنى محتمل أن تقل عن تلك المقاومة كما أن استخدام المقاومة الدنيا غير إقتصادى .

جميع الكودات العالمية تعتبر أن مقاومة الضغط المتوسطة =  $f_m$  هى مقاومة تصميم الخلطة وتكون مقاومة تصميم المبنى هى مقاومة الضغط المميزة ( $f_{cu}$ ) .

ج - العلاقة بين مقاومة الضغط وأرقام الاختبارات .  
يتم رسم العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الاختبار (اختبار رقم 1 ، 2 ، ..... n) كما هو موضح بشكل (15-5) .



شكل (15-5) العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الاختبار

د - الحكم على جودة الخرسانة حسابياً .  
يلاحظ من شكل (15-5) أن مقاومة الضغط الدنيا لمشروع ما هى ( $f_{cu \min}$ ) ومقاومة الضغط القصوى هى ( $f_{cu \max}$ ) ويتم حساب مقاومة الضغط المتوسطة ( $f_{cu \text{av}}$ ) .

$$f_{cuav} = \frac{f_{cu1} + f_{cu2} + f_{cu3} + \dots + f_{cun}}{n} = f_m$$

حيث n عدد الاختبارات .

يتم حساب الاختلاف ( $\Delta$ ) بين مقاومة اختبار معين ( $f_{cun}$ ) ومقاومة الضغط المتوسطة  $f_{cuav}$

$$\Delta_n = f_{cun} - f_{cuav}$$

وكما كانت  $\Delta$  قريبة من الصفر دل ذلك على نقص التغير فى مقاومة الخرسانة والعكس صحيح وللحكم على جودة الخرسانة يتم استخدام دليلين احصائيين هما الانحراف المعيارى (Standard deviation) لمقاومة الضغط ( $\sigma$ ) ومعامل الاختلاف (V) حيث :



جدول (5-29) هامش أمان تصميم خلطات الخرسانة طبقاً للكود المصرى

البيانات الإحصائية المتوفرة عن نتائج اختبار المقاومة		هامش أمان تصميم خلطة الخرسانة M عندما تكون المقاومة المميزة $f_{cu}$
$F_{cu} \leq 200$ كجم/سم <sup>2</sup>	$F_{cu} > 200$ كجم/سم <sup>2</sup>	
1- توافر 40 نتيجة اختبار أو أكثر بمواد وظروف مماثلة	1- توافر 40 نتيجة اختبار (1.64) الانحراف المعياري ولا يقل عن 65 كجم/سم <sup>2</sup>	(1.64) الانحراف المعياري ولا يقل عن 0.33 المقاومة المميزة
2- عدم توافر بيانات أقل من 40 خلطة خلال فترة لا تزيد عن 6 شهور بمواد وظروف مماثلة	2- عدم توافر بيانات أقل من 40 خلطة خلال فترة لا تزيد عن 6 شهور بمواد وظروف مماثلة	ولا يقل عن 0.66 المقاومة المميزة

\* الاختبار يمثل عينة من ثلاث مكعبات أو اسطوانات.

5-7-4-2 المقاومة المميزة فى طريقة معهد الخرسانة الأمريكى .  
يستخدم معهد الخرسانة الأمريكى عينات اسطوانية (15×30سم) لتحديد مقاومة الضغط بعد 28 يوم . يهتم المعهد بأن لايزيد الفرق بين مقاومة تصميم الخلطة والمقاومة المميزة (  $f_{cu}$  ) زيادة كبيره ويهتم كذلك بأن لا يحدث نقص فى المقاومة فى تجارب متلاحقة.

أ - فى حالة مقاومة الخرسانة المميزة للأسطوانة أقل من أو يساوى 350 كجم/سم<sup>2</sup> .  
يجب أن تحقق المقاومة المميزة الإشتراطات التالية :  
(1) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال فشل ثلاث اختبارات متتابعة من تحقيق تلك المقاومة عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$f_m = f_{cy} + 1.346$   
(2) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص مقاومة الإختبار المفردة عنها بمقدار 35 كجم/سم<sup>2</sup> عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :  
 $f_m = f_{cy} + 2.336 - 35.0$

ب - فى حالة مقاومة الخرسانة المميزة الأكبر من 350 كجم/سم<sup>2</sup> .

(1) تستخدم الشرط الأول فى البند (أ) .  
(2) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص مقاومة إختبار واحد عنها بمقدار 0.10 كجم/سم<sup>2</sup> من المقاومة المميزة عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$f_m = 0.90 f_{cy} + 2.336$   
بحسب 6 من نتائج الاختبارات المتوفرة لظروف مشابهه بحيث لا يقل عدد العينات عن 30 .

فى حالة وجود عدد من الاختبارات أقل من 30 وأكبر من أو يساوى 15 يحسب used 6 لهذه العينات ويتم تكبير الانحراف المعيارى 6 بضربه فى معامل تكبير (f) للحصول على 6 used

وتحسب f طبقاً لجدول (5-30) .

(Characteristic compressive strength) وتكون العلاقة بينهما كما يلى :

$$f_m = f_{cu} + M$$

حيث M = هامش أمان  $f_{cu} = f_m - M$  .  
أى أن المقاومة المميزة هى مقاومة أقل من المقاومة المتوسطة وأعلى من المقاومة الدنيا .

1-4-7-5 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة ( $f_m$ ) والمقاومة المميزة ( $f_{cu}$ ) طبقاً للكود المصرى :

1 - تعريف المقاومة المميزة وتحديد هامش الأمان :

ويعرف الكود المصرى للخرسانة المقاومة المميزة بأنها مقاومة ضغط المكعب القياسى (15×15×15 سم) عند عمر 28 يوم والتى من غير المحتمل أن يقل عنها أكثر من 5% من عدد نتائج اختبارات تحديد المقاومة أثناء التنفيذ وهى المقاومة التى يقوم المهندس الإستشارى بتصميم القطاعات الخرسانية بناء عليها ويحسب هامش الأمان M كما يلى :

$$M = K \cdot 6$$

K = ثابت من احتمال فشل 5 % من العينات عن تحقيق المقاومة المميزة = 1.64 (جدول 5-1) .

6 = الإنحراف المعيارى لنتائج اختبارات مقاومة الخرسانة التى سبق للمقاول صيها فى ظروف مشابهه لظروف الإنشاء .

وجداول (5-29) يعطى قيم هامش الأمان سواء لخرسانة ذات مقاومة مميزه أكبر من أو أقل من 200 كجم /سم<sup>2</sup> ويلاحظ أن الأصل هو حساب الإنحراف المعيارى من النتائج السابقه ويعطى الكود قيم دنيا لهامش الأمان فى حالة توافر 40 نتيجة على الأقل . وفى حالة عدم توافر 40 نتيجة أو توافر نتائج أقل يعطى قيمة ثابتة لهامش الأمان كما هو موضح بجدول (5-29) .

- ويوصى الكود المصرى بعمل خلطات تجريبية فى المعمل الذى يقوم بتصميم الخلطة ثم يوصى الكود بتنفيذ خلطات تأكيديه للمقاومة .

## Affirmative Mixes

2 - الخلطات التأكيديه :

يجب على منتج الخرسانه أن يقوم فى الموقع بتنفيذ ثلاث خلطات خرسانية بالكمية التى تنتج فى الموقع ومن كل خلطة يأخذ تسعة مكعبات ثلاثه منها تختبر عند عمر مبكر (ثلاثة أو سبعة أيام) والباقي تختبر عند عمر 28 يوم .

- تعتبر الخلطة ناجحه فى حالة أن تحقق نتائج اختبارات الثلاث خلطات عند عمر 28 يوم الشروط الآتية :

أ - لا يقل متوسط مقاومة الضغط بعد 28 يوم لـ 18 مكعب عن 95 % من مقاومة تصميم الخلطة .

ب - لا يقل متوسط الـ 18 مكعب عن المقاومة المميزة مضافاً إليها 65 كجم/سم<sup>2</sup>

ج - لا تقل مقاومة أى مكعب منفرد عن المقاومة المميزة .

د - لايزيد الفرق بين مقاومة أكبر مكعب وأصغر مكعب فى الخلطة الواحده عن 15% من متوسط مقاومة الستة مكعبات الخاصة بهذه الخلطة .  
ويمكن للجهد المشرفه فى أى وقت عمل خلطات تأكيديه اضافية بالخامات الموجوده فى الموقع .



جدول (30-5) قيم معامل التصحيح .

عدد العينات	30	25	20	15
معامل التصحيح f	1	1.03	1.08	1.16

في حالة عدم وجود معلومات أو عدد اختبارات أقل من 15 إختبار يستخدم هامش أمان كما بجدول رقم (31-5) .  
جدول (31-5) هامش الأمان كدالة من مقاومة الضغط في حالة عدم توفر نتائج أو توفر أقل من 15 نتيجة .

مستوى مقاومة الضغط كجم/سم <sup>2</sup>	fcy < 210	210 ≤ fcy ≤ 350	fcy > 350
هامش الأمان (M) كجم/سم <sup>2</sup>	70	85	0.10 fcy + 50

8-5 أمثلة على تصميم الخلطات الخرسانية .

مثال (1) :

المطلوب تصميم خلطات خرسانية لمنشأ مقاومته المميزة للإسطوانة 250 كجم / سم<sup>2</sup> إذا كان هبوط الخرسانة المطلوب للأساسات 15 سم وتعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتات معبراً عنها (SO<sub>4</sub> = 3000 جزء في المليون) والهبوط المطلوب لباقي المنشأ 10 سم إذا علم أن المقاس الإعتباري الأكبر لكسر الأحجار<sup>1</sup> ومعايير نعومة الرمل 2.6 والوزن النوعي للزلط والرمل 2.68 ، 2.6 ووحدة الوزن = 1.65 ، 1.70 طن/م<sup>3</sup> على الترتيب بفرض أن الانحراف المعياري = 40 كجم/سم<sup>2</sup> .

تصميم الخلطة الخرسانية الخاصة بالأساسات

- من جدول (3-5) محتوى الماء = 205 كجم ومحتوى الهواء = 1.5 % .
- من جدول (5-5) يستخدم أسمنت مقاوم للكبريتات ونسبة الماء للأسمنت W/C1 = 0.45 ومقاومة الضغط الدنيا = 310 كجم/سم<sup>2</sup>
- مقاومة الضغط للإسطوانة = المقاومة القصوى من 250 ، 310 (المقاومة المميزة = 310 كجم /سم<sup>2</sup> .

$$f_{m1} = 310 + 1.34 (40) = 364.$$

$$f_{m2} = 310 + 2.33 (40) - 35 = 368 \text{ kg/cm}^2 .$$

$$f_{ue} f_{cy m} = 368 .$$

- من جدول (4-5) نسبة الماء للأسمنت W/C2 = 0.452 .

- نسبة الماء للأسمنت الدنيا = 0.45

- وزن الأسمنت = 0.45 / 205 = 455 كجم . تقريباً تؤخذ = 450 كجم .

- من جدول (7-5) حجم الزلط للمتر المكعب = 0.69 م<sup>3</sup> .

- وزن الزلط = 1.65 × 0.69 = 1138.5 كجم .

- محتوى الرمل (S) بالتطبيق في مقاومة الحجم المطلق .

$$\frac{0.205}{1} + \frac{0.45}{3.15} + \frac{1.1385}{2.68} + \frac{S}{2.6} = 1 - \frac{1.5}{100}$$

● محتوى الرمل = 552 كجم .

وحدة وزن الخرسانة النظرية = γ<sub>th</sub> تقريباً = 2.350 طن/م<sup>3</sup>

\* تم عمل خلطة خرسانية في المعمل وبقياس وحدة وزن الخرسانة في المعمل = γ<sub>erp</sub> = 2.40 طن/م<sup>3</sup> .

وهذا يعنى أن الكميات المستخدمة لا تكفى لإنتاج 1م<sup>3</sup> ويتم إجراء التصحيحات التالية .

$$\text{معامل التصحيح} = \frac{\gamma_{exp}}{\gamma_{th}} = 1.021$$

\* الزيادة في الكميات يجب أن تكون في الزلط والرمل مع الإحتفاظ بمحتوى الأسمنت والماء ثابت

$$\text{الزلط المعدل} = 1.1385 \times 1.02 = 1.162$$

$$\text{الرمل المعدل} = 0.552 \times 1.02 = 0.563$$

$$\text{وزن الأسمنت الذى كان مفترض أن ينقص} = 0.021 \times 0.450 = 0.00945 \text{ طن}$$

$$\text{حجم الأسمنت الجامد} = 3.15 / 0.00945 = 0.003$$

$$\text{وزن الماء الذى كان من المفترض أن ينقص} = 0.021 \times 0.205 = 0.0043 \text{ طن}$$

$$\text{حجم الماء} = 0.0043 \text{ م}^3$$

$$\text{حجم الماء والأسمنت} = 0.0043 + 0.003 = 0.0073 \text{ م}^3$$

هذا الحجم يتم زيادته للركام .

لاحظ أن نسبة الزلط : الرمل

$$1.1385 : 558 =$$

$$2 : 1 \text{ نسبة}$$

$$\text{الوزن النوعي للركام الشامل} = 3 / (2.68 \times 2 + 2.60 \times 1) = 2.65$$

$$\text{وزن الركام ذو الحجم المكافئ لحجم الماء والأسمنت الذى كان المفترض زيادته} =$$

$$2.65 \times 0.0073 = 0.0192$$

$$\text{وزن الرمل الإضافي} = 3 / 1 \times 0.192 = 0.006$$

$$\text{وزن الزلط النهائى} = 1.162 + 0.0132 = 1.1752$$

$$\text{وزن الرمل النهائى} = 0.563 + 0.006 = 0.569$$

$$\text{وحدة الوزن} = 0.205 + 0.450 + 1.1752 + 0.569 = 2.399 \text{ طن/م}^3$$

تصميم الخلطة الخرسانية للمنشأ

من جدول (3-5) محتوى الماء 195 كجم ، مقاومة الضغط 250

$$f_{cym} = 250 + 1.34(40) = 304$$

$$f_{cym} = 250 + 2.33(40) - 35 = 308$$

$$f_{cym} = 308 \text{ kg/cm}^2$$

من جدول (4-5) نسبة الماء للأسمنت = 0.53



- محتوى الأسمنت = 0.53/195 = 368 كجم .  
- لحساب محتوى الرمل

$$\frac{0.368}{3.15} + 0.195 + \frac{1.1385}{2.68} + \frac{S}{2.6} = 0.985$$

$$0.215 = \frac{S}{2.6}$$

محتوى الرمل = 646 كجم  
الكثافة النظرية = 2.348

## مثال (2) :

في المثال السابق اذا كانت الأساسات عبارة عن خوازيق يتم تنفيذها في بحيرة مريوط وكان تركيز أملاح الكلوريدات 40000 جزء في المليون وأملاح الكبريتات مقدره ك SO3 = 3000 جزء في المليون صمم خلطة خرسانية بطريقه ACI لتلك الخوازيق مع اعتبار جميع المتغيرات الأخرى كما هي .

الحل :

يستخدم جدول (5-6) للخرسانة المعرضة للمهاجمة بالكلوريدات والكبريتات فيكون نسبة الـ  $W/C = 0.40$  وتكون مقاومة الإسطوانة 350 كجم/سم<sup>2</sup> .  
نسبة الماء للأسمنت الدنيا = 0.40  
المقاومة المميزه القصوى = 350 كجم/سم<sup>2</sup> .

$$F_{eym} = 350 + 1.34 (40) = 404$$

$$F_{eym} = 0.9 \times 350 + 2.33 (40) = 408$$

من جدول (4-5) للمقاومات

نسبة  $W/C$  للمقاومات = 0.412  
نستخدم  $W/C = 0.40$

∴ محتوى الأسمنت = 0.40/205 = 512 كجم/سم<sup>2</sup> .  
( محتوى الأسمنت عالى ويفضل استخدام مادة عالية التلدين )  
يحسب محتوى الرمل S كما يلي .

$$\frac{0.512}{3.15} + \frac{0.205}{1} + \frac{S}{2.60} + \frac{1.1385}{2.68} = 0.985$$

محتوى الرمل = 500 كجم/م<sup>3</sup>  
وحدة وزن الخرسانة = 2.355 طن/م<sup>3</sup>

## مثال (3) : على طريقة المؤلف :

العلاقة بين المكعب والإسطوانة ليست ثابتة ولكنها متغيرة وتتراوح بين 80 ، 95 % ولذلك فإن الإنحراف المعياري للإسطوانة =  $(0.8)^{0.5}$  من الإنحراف المعياري للمكعب .  
المطلوب تصميم الخلطة السابقة بطريقة المؤلف وجداول التحمل للكوود المصرى بفرض استخدام اضافات عالية تلدين بنسبة 1% من وزن الأسمنت واستخدام ركام مكسر . وان المقاومة المميزه لتصميم المنشأ للمكعب 300 كجم /سم<sup>2</sup>  
- محتوى الماء (W0) للركام المكسر = 213 كجم (جدول 5-18) .  
محتوى الهواء المحبوس = 1.5 %  
مقاومة ضغط المكعب الخرسانيه = 0.8/250 = 312 كجم/سم<sup>2</sup>

الإنحراف المعياري للمكعب =  $(0.8)/40 = 2^{1/4}$  = 45 كجم/سم<sup>2</sup>  
من جدول (5-21) للتحميلية  $W/C = 0.40$

محتوى الأسمنت 400 كجم / م<sup>3</sup>  
مقاومة ضغط المكعب الدنيا = 400 كجم/سم<sup>2</sup> ( أكبر من المقاومة المميزه للتصميم )  
مقاومة الضغط القصوى = 400 كجم/سم<sup>2</sup>  
مقاومة تصميم الخلطة = 400 + 1.64 (45) = 473.8 كجم/سم<sup>2</sup>  
لوس أنجليوس للركام التي تحقق هذه المقاومة = 22.5 % (جدول 5-24) نختار كسر الأحجار التي تحقق ذلك .

من جدول (5-22) نسبة الماء للأسمنت = 0.42  
نسبة  $W/C$  الدنيا = 0.40

محتوى الأسمنت = 0.40/213 = 532.5 (أولياً)

وزن الإضافة =  $532.5 \times 100/1 = 53.3 \approx 5.3$  كجم .

لفرض الوزن النوعى للإضافة = 1.20

حجم الإضافة =  $1.2/5.3 = 4.4$  لتر يستخدم 5 لتر .

محتوى الماء المكافى للإضافات =  $5 \times 8 = 40$  لتر . (جدول 5-19)

ماء الخلط (W) = (213) - (40) = 173 لتر .

وزن الأسمنت الفعلى =  $0.40/173 = 432.5$  لتر = 433

من جدول (5-25) نسبة الرمل / الركام  $S/A$

محتوى الرمل (S) = 0.39 A

محتوى الركام الكبير (G) = 0.61 A

بالتطبيق فى معادلة الحجم المطلق .

$$0.173 + \frac{0.4330}{3.15} + \frac{0.394}{2.60} + \frac{0.614}{2.68} + 0.005 = 0.985$$

$$S = 0.693 \text{ ton} \quad G = 1.084 \text{ ton}$$

وحدة وزن الخرسانة = 2.39 طن / م<sup>3</sup>

## مثال (4) على طريقة المؤلف :

المطلوب تصميم خلطة خرسانية مقاومة ضغط هذه الخلطة = 700 كجم/سم<sup>2</sup> وهبوطها 10 سم والمقاس الإعتبارى الأكبر لكسر الأحجار 2/1 بوصه ومعايير النعومة للرمل 2.8 استخدم خواص الركام السابق وأجرى التصحيحات اللازمه اذا علم أن الرمل به نسبة رطوبة 1.5 % والإمتصاص للركام الكبير = 1% . (استخدم طريقة المؤلف)

من جدول (5-18) محتوى الماء  $W_o = 222$

محتوى الهواء = 2.5

المقاومة 700 كجم/سم<sup>2</sup> يستخدم كسر أحجار لوس أنجليوس له = 15 (جدول 5-24)

يستخدم دولوميت ويفرض أن وزنه النوعى = 2.68

من جدول (5-23) نسبة  $W/C = 0.285$

محتوى الأسمنت التجريبي =  $0.285/222 = 778$  هذا الأسمنت محتواه عالى جداً

يفضل استخدام مواد عالية التلدين بمحتوى 1.5% بفرض أن الأسمنت 600 كجم/م<sup>3</sup>

محتوى الإضافة باللتر =  $1.2/600 \times 100/1.5 = 7.5$  لتر = 8 لتر (الوزن النوعى للإضافة = 1.2)

$$64 = \Delta w \quad \text{من جدول (5-19)}$$



∴ محتوى الماء W = 222 - 64 = 158  
∴ محتوى المواد الأسمنتية 554 = 0.285/158

يستخدم 10% غبار سليكا = 55 كجم  
∴ الأسمنت = 504 كجم/م<sup>3</sup>

- من جدول (5-25) لنسبة الرمل للركام  $S/A \cong 0.39$

$$g = (0.39)A.$$

$$G = (0.61)A \quad \text{ويكون الركام الكبير}$$

نفرض الوزن النوعي لغبار السليكا = 2.3

$$\frac{0.055}{2.3} + \frac{0.504}{3.15} + \frac{0.158}{1} + \frac{0.39A}{2.6} + \frac{0.61A}{2.68} + 0.008 = 0.975$$

الرمل (S) = 0.645 ، كسر الدولوميت = 1.01 طن/م<sup>3</sup>  
- تصحيح رطوبة الرمل .

$$\frac{X1}{g - X1} = \frac{1.50}{100} = \frac{X1}{0.645 - X1} \quad \therefore X1 = 9.5 \text{ Kg}$$

- تصحيح امتصاص الركام X2

$$\frac{X2}{G} = \frac{1}{100} = \frac{X2}{10.1}$$

$$= 10.1 \text{ Kg}$$

- محتوى الرمل = S + X1 = S1 = 654.5 كجم/م<sup>3</sup>

محتوى الماء = W1 = W - X1 + X2 =

$$158 = 158.6 - 9.5 + 10.1 = 158.6 \text{ كجم/م}^3$$

وحدة وزن الخرسانة = وحدة الوزن قبل التصحيح + X2 = 2.391 طن/م<sup>3</sup>

يتم عمل تجربة عملية وتصحيح وحدة الوزن والهبوط .

مثال (5) (الطريقة البريطانية):

المطلوب تصميم خلطة خرسانية لمنشأ يتعرض لظروف عادية مقاومة المميزه للمكعب = 40

ن/م<sup>2</sup> عند 28 يوم باستخدام أسمنت سريع التصلب وكان الهبوط المطلوب 150 مم وكان

الوزن النوعي للركام الكبير المكسر 2.6 والرمل فى المنطقة الثانية للتدرج والمقاس الاعتبارى

الأكبر 20 مم و الانحراف المعيارى 5 ن/م<sup>2</sup> .

- من جدول (5-17) محتوى الماء 225 كجم/م<sup>3</sup> .

- من جدول (5-16) المقاومة عند 28 يوم = 53 ن/م<sup>2</sup> .

- من شكل (5-10) من نقطة تقاطع نسبة W/C = 0.50 ، مقاومة 53 كجم/سم<sup>2</sup> نرسم منحنى

(بين منحنى مقاومة 80 ، 90 ن/م<sup>2</sup>) للعلاقة بين W/C ، مقاومة الضغط .

- مقاومة تصميم الخلطة = 40 + 1.64(5.0) = 48.2 ن/م<sup>2</sup> .

- من المنحنى المرسوم عند مقاومة 53 .

$$\therefore W/C = 0.52$$

محتوى الأسمنت = 433 كجم / م<sup>3</sup> .

من شكل (5-11) نجد أن وحدة وزن الخرسانة = 2390 كجم/م<sup>3</sup>

$$\therefore \text{وزن الركام} = 2390 - 433 - 225 = 1732 \text{ كجم/م}^3$$

- من شكل (5-12) الهبوط 150 مم ونسبة ماء الى أسمنت 0.52 وللمنطقة (2) تكون نسبة

الرمل للركام المتوسطة 41.5 %

$$\text{- محتوى الرمل} = 1732 \times 0.415 = 719 \text{ كجم/م}^3$$

محتوى كسر الأحجار = 1013 كجم .

مثال 6 على ضبط الجودة :

الجدول التالى يحتوى على نتائج 50 اختبار ضغط مكعب قياسى . إحكم على ضبط جودة تلك

الخرسانة بناء على الكود المصرى والـ ACI .

(حسب المقاومة المميزه طبقاً للكود المصرى والـ ACI .

جدول قيم مقاومة الضغط كجم/سم<sup>2</sup> .

400	425	430	435	440	465	400	475	420	425
490	420	430	510	415	420	425	425	420	450
440	490	430	425	420	425	410	430	415	415
450	550	420	430	400	420	450	430	420	460
420	425	430	420	425	430	450	430	400	480

المقاومة القصوى للمكعب = 550 كجم/سم<sup>2</sup> .

المقاومة الدنيا للمكعب = 400 كجم/سم<sup>2</sup> .

الكود المصرى .

المقاومة المتوسطة للمكعب = 436 كجم /سم<sup>2</sup> .

الانحراف المعيارى 6 = 29 كجم/سم<sup>2</sup> .

معامل التغير = 436/29 = 6.7 % .

التحكم ممتاز (جدول 5-28) .

المقاومة المميزه للمكعب = المقاومة المتوسطة - 1.64(6) .

$$436 - 1.64(29) \cong 389$$

لأن الكود ينص على أن لا يقل هامش الأمان عن 65 كجم/سم<sup>2</sup> .

$$\therefore \text{المقاومة المميزه} = 436 - 65 = 371 \text{ كجم/سم}^2$$

طبقاً للـ ACI .

$$\text{مقاومة الأسطوانة المتوسطة} = 0.8 \times 436 = 348.8$$

$$\text{الانحراف المعيارى} = 29 \times (0.8)^{1/4} \cong 26$$

$$\text{مقاومة الأسطوانة المميزه} = 348.8 - 1.34 \times 26 = 314 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\text{مقاومة الأسطوانة المميزه} = 348.8 - 2.33(26) + 35 = 323 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\therefore \text{مقاومة الأسطوانة المميزه لهذا المشروع} = 314 \text{ كجم/سم}^2$$

مثال (7) :

المطلوب حساب مقاومة تصميم خلطة خرسانية مقاومة ضغط المكعب المميزه = 400

كجم/سم<sup>2</sup> (يتم الحل بالكود المصرى و ACI) اذا علم أن هذا المشروع سيتم تنفيذه بنفس خامات

وأسلوب المشروع ذو النتائج فى المثال السابق .

الكود المصرى .



$$F_{cum} = f_{cu} + 1.64 \sigma$$

$$F_{cum} = 400 + 1.64 (26) \cong 443$$

الكود المصرى ينص على أن الانحراف المعيارى لا يقل عن 40 كجم /سم<sup>2</sup>

$$F_{cum} = 400 + 1.64 (40).$$

$$F_{cum} = 465 \text{ kg/cm}^2 .$$

- طبقاً للـ ACI .

$$F_{cy} = 0.8 (400) = 320 \text{ kg/cm}^2 .$$

$$F_{cym1} = 320 + 1.34 (29) = 359 .$$

$$F_{cym2} = 320 + 2.33 (29) - 35.0 = 353$$

$$F_{cym} (\text{المقاومة التصميمية للخلطة}) = 359 \text{ kg/cm}^2 .$$